

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Šimunić

PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA ARHITEKTURE MREŽE IEEE 802.11
PRIMJENOM ALATA EKAHAU SITE SURVEY

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2018.

Zagreb, 20. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4521

Pristupnik: **Ivan Šimunić (0135240895)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Prijedlog unaprjeđenja arhitekture mreže IEEE 802.11 primjenom alata Ekahau Site Survey**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati temeljne mrežne elemente i arhitekture IEEE 802.11 mreže. Obraditi IEEE 802.11 standarde i prikazati mogućnosti unaprjeđenja arhitekture IEEE 802.11 mreže primjenom softvera Ekahau Site Survey.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

dr. sc. Ivan Forenbacher

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA ARHITEKTURE MREŽE IEEE 802.11
PRIMJENOM ALATA EKAHAU SITE SURVEY**

**OPTIMIZING THE ARCHITECTURE OF IEEE 802.11 NETWORK WITH
EKAHAU SITE SURVEY**

Mentor: dr. sc. Ivan Forenbacher

Student: Ivan Šimunić

JMBG: 0135240895

U Zagrebu, rujan 2018.

PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA ARHITEKTURE MREŽE IEEE 802.11 PRIMJENOM ALATA EKAHAU SITE SURVEY

SAŽETAK

Zahtjevi bežičnih LAN (WLAN) mreža za funkcionalnošću i skalabilnošću u svim sektorima sve više rastu zbog ubrzanog razvoja novih mrežnih uređaja i aplikacija. Visoko školstvo nije ništa manje važno. Fakultet je heterogeno mjesto gdje se istovremeno očekuje veliki broj studenata koji mogu koristiti nekoliko različitih uređaja od kojih svaki ima različite zahtjeve za prijenosnim brzinama. Posljedično, planiranje mreže za takve okoline postaje izazov jer samo dodavanje pristupnih točaka ne predstavlja cjelovito rješenje. Postaje neophodno korištenje određenih alata pri dizajniranju, implementaciji, održavanju i otkrivanju problema u radu mreže kako bi se postigla potpuna svrha i skalabilnost mreže. U ovom je radu korišten softverski alat *EkaHau Site Survey* za validacijsku analizu trenutne WLAN mreže Objekta 71 Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu koja je poslužila kao studija slučaja. Zatim su predložena tri scenarija prediktivnih modela za unaprjeđenje parametara WLAN mreže poput *airtime*-a, RSSI-a, propusnosti, broja i rasporeda pristupnih točaka te konfiguracija kanala i antena. Prikazani rezultati mogu poslužiti u rekonfiguraciji postojeće mreže vodeći računa o ispunjavanju različitih suvremenih korisničkih zahtjeva.

KLJUČNE RIJEČI: Bežične LAN mreže; IEEE 802.11; EkaHau Site Survey; planiranje.

SUMMARY

The demand for functionality and scalability of wireless LAN (WLAN) is increasing significantly in all sectors. This is because of accelerated development of new network devices and applications. The higher education is no less important. Faculty is a heterogenous environment where it's expected large number of students simultaneous. They may use several different devices and each device can have different bandwidth requirements. Consequently, network planning for such environment becomes a challenge because only adding new access points is not a holistic solution. It is necessary to use certain tools during designing, planning and troubleshooting WLAN networks in order to achieve full scalability and purpose of the network. In this paper author used EkaHau Site Survey to validate existing WLAN network of Facility 71 of Faculty of Transport and Traffic Sciences at the University of Zagreb. As a result, three predictive models were proposed in order to suggest improvements of overall WLAN network performance, including airtime, RSSI, throughput, total number and layout of access points, channel, and antenna configuration. The results may serve to reconfigure the existing network to achieve various contemporary user requirements.

KEYWORDS: Wireless LAN; IEEE802.11; EkaHau Site Survey; planning.

Sadržaj:

1.	Uvod	1
2.	Općenito o WLAN tehnologijama	2
2.1.	Povijest WLAN mreža	2
2.2.	Osnovno o WLAN tehnologijama	3
2.3.	Protokolarni složaj IEEE 802.11 mreže	4
2.3.1.	OSI referentni model.....	4
2.3.2.	Fizički sloj IEEE 802.11 mreže.....	5
2.3.3.	Sloj veze podataka IEEE 802.11 mreže	10
2.4.	Arhitektura 802.11 mreže	11
2.4.1.	Načini rada 802.11 mreže	13
2.4.2.	WLAN uređaji	14
2.4.3.	Sigurnost 802.11 mreže	18
2.5.	Organizacije i standardi	19
2.5.1.	802.11a.....	20
2.5.2.	802.11b.....	20
2.5.3.	802.11g.....	20
2.5.4.	802.11n.....	21
2.5.5.	802.11ac	22
2.5.6.	802.11ax	22
3.	Općenito o planiranju WLAN mreže	23
3.1.	Životni ciklus modeliranja WLAN mreže.....	23
3.1.1.	Definiranje zahtjeva	24
3.1.2.	Kreiranje plana mreže	24
3.1.3.	Verifikacija izrađenog plana	25
3.1.4.	Instaliranje opreme i optimizacija.....	25
3.2.	Alat za planiranje WLAN mreže – Ekahau Site Survey.....	25
3.3.	Glavni indikatori kvalitete WLAN mreže.....	26
3.3.1.	Razina snage signala.....	26
3.3.2.	Iskorištenost zračnog sučelja	27
3.3.3.	Preklapanje kanala	28
3.3.4.	Odnos signal – šum.....	29

3.3.5.	Brzina prijenosa	30
3.4.	Načini za poboljšavanje kvalitete prijenosa u WLAN mreži	30
3.4.1.	Primarna i sekundarna pokrivenost	32
3.4.2.	Uporaba odgovarajućih pristupnih točaka	32
3.4.3.	Postavljanje razine snage signala odašiljača	33
3.4.4.	Postavljanje minimalne brzine prijenosa	33
3.4.5.	Planiranje kanala	34
3.4.6.	Planiranje ćelija	35
4.	Opis trenutnog stanja WLAN mreže Objekta 71	36
4.1.	Prikaz tlocrta podruma	37
4.2.	Prikaz tlocrta prizemlja	39
4.3.	Prikaz tlocrta kata	40
4.4.	Opis karakteristika korisnika	41
4.5.	Opis zatečenog stanja WLAN mreže	41
5.	Provedba validacijske analize kvalitete WLAN mreže Objekta 71	45
5.1.	Rezultati analize	46
5.1.1.	Analiza kvalitete mreže u podrumu	46
5.1.2.	Analiza kvalitete mreže u prizemlju	50
5.1.3.	Analiza kvalitete mreže na katu	55
5.2.	Interpretacija rezultata analize	60
6.	Prijedlog unaprjeđenja WLAN mreže Objekta 71	62
6.1.	Definiranje zahtjeva mreže	62
6.2.	Definiranje profila terminalnih uređaja	63
6.3.	Definiranje zahtjeva za kapacitetom	64
6.4.	Prediktivni model unaprjeđenja mreže – Ruckus ZoneFlex R710	64
6.4.1.	Distribucija broja potrebnih pristupnih točaka	64
6.4.2.	Raspored pristupnih točaka	65
6.4.3.	Konfiguracija kanala pristupnih točaka	67
6.4.4.	Konfiguracija antena pristupnih točaka	68
6.4.5.	Analiza kvalitete mreže u podrumu	72
6.4.6.	Analiza kvalitete mreže u prizemlju	75
6.4.7.	Analiza mreže na katu	79

6.5.	Prediktivni model unaprjeđenja mreže – Cisco 3802i	83
6.5.1.	Distribucija broja potrebnih pristupnih točaka	83
6.5.2.	Raspored pristupnih točaka	84
6.5.3.	Konfiguracija kanala pristupnih točaka	86
6.5.4.	Konfiguracija antena pristupnih točaka	87
6.5.5.	Analiza kvalitete mreže u podrumu	91
6.5.6.	Analiza kvalitete mreže u prizemlju	95
6.5.7.	Analiza kvalitete mreže na katu	98
6.6.	Prediktivni model unaprjeđenja mreže – samo 5 GHz frekvencijski pojas	102
6.6.1.	Distribucija broja potrebnih pristupnih točaka	102
6.6.2.	Raspored pristupnih točaka	103
6.6.3.	Konfiguracija kanala pristupnih točaka	104
6.6.4.	Konfiguracija antena pristupnih točaka	105
6.6.5.	Analiza kvalitete mreže u podrumu	109
6.6.6.	Analiza kvalitete mreže u prizemlju	111
6.6.7.	Analiza kvalitete mreže na katu	113
7.	Zaključak.....	116
	Literatura	117
	Popis ilustracija.....	120
	Popis tablica	124
	Popis grafova	124
	Popis kratica	126

1. Uvod

Razvoj bežičnih LAN tehnologija imao je ogroman utjecaj na obrazovanje. Ove tehnologije su postale neizostavni dio u procesu obrazovanja. Studentima je omogućeno fleksibilno, adaptivno i kontinuirano učenje. Omogućen im je pristup svim potrebnim resursima i informacijama u raznim oblicima. Izmijenjen je i način na koji profesori prenose znanje, korištenjem multimedijalnog sadržaja na predavanjima studentima se uspijeva približiti gradivo. Zbog svega navedenog je jako bitno napraviti dobar plan mreže koji zadovoljava sve zahtjeve za skalabilnost i funkcionalnost, a koji se dobivaju iz razgovora sa *stakeholderima*. U ovom radu prikazani su rezultati obavljene validacijske analize Objekta 71 i predložena su određena rješenja za novu mrežu u Objektu 71. Za validacijsku analizu i izradu plana mreže korišten je softverski alat *EkaHau Site Survey*.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Općenito o WLAN tehnologijama
3. Općenito o planiranju WLAN mreže
4. Opis trenutnog stanja WLAN mreže Objekta 71
5. Provedba validacijske analize kvalitete WLAN mreže Objekta 71
6. Prijedlog unaprjeđenja WLAN mreže Objekta 71
7. Zaključak

Kako bi se bolje razumio rad u alatu *EkaHau Site Survey* potrebno je poznavati neke osnove o bežičnim LAN mrežama. U drugom poglavlju se govori općenito o tehnologijama bežične LAN mreže.

Treće poglavlje se bavi općenito problematikom planiranja WLAN mreže u prostorima sa velikom gustoćom klijenata. Opisuje se životni ciklus planiranja WLAN mreže, govori se o nekim glavnim indikatorima kvalitete mreže te se vrši upoznavanje sa softverskim alatom korištenim za validacijsku analizu i izradu plana bežične LAN mreže.

U četvrtom poglavlju se opisuje trenutno stanje WLAN mreže u objektu 71. Prikazuju se karakteristike samog objekta 71, opisuju se navike klijenata i prikazuje način na koji je implementirana postojeća mreža.

U petom poglavlju su prikazani rezultati validacijske analize po katovima i pojedinim indikatorima kvalitete mreže te su istaknuti problemi s trenutnom mrežom.

U šestom poglavlju data su tri prijedloga unaprijeđenja mreže fakulteta u Objektu 71. Ponuđena su rješenja sa pristupnim točkama različitih proizvođača te uz priložene vizualizirane indikatore kvalitete istaknuta je prednost dizajniranja mreže samo u 5 GHz frekvencijskom pojasu.

2. Općenito o WLAN tehnologijama

Bežična lokalna mreža (engl. *Wireless Local Area Network* - WLAN) je mreža koja omogućuje terminalnim uređajima da se međusobno bežično povežu i komuniciraju na nekom manjem području, na primjer u jednoj ili više zgrada [1]. WLAN sustavi koriste elektromagnetske valove za prijenos podataka od jedne točke prema drugoj pri čemu se podaci, procesom modulacije odnosno demodulacije, dodaju i preuzimaju sa radio-nositelja. Korištenjem različitih frekvencija za prijenos radiovalova moguće je ostvariti više radio-nositelja na istom mjestu i u isto vrijeme bez međusobne interferencije.

WLAN je postao jako popularan u kućnoj, edukacijskoj i poslovnoj uporabi. Glavna prednost u odnosu na Ethernet je to što se uređaji povezuju bežično, zbog čega je omogućeno kreiranje poslovne ili kućne mreže bez potrebe instalacije kablova u zgradama što ga čini ekonomičnijim rješenjem, omogućavajući uz to i mobilnost uređaja. Radijus pokrivanja WLAN mreže ovisi jačini emitiranja signala, no obično domet nije veći od 50 metara u zatvorenom prostoru, odnosno 100 metara na otvorenom prostoru [2].

WLAN nije ograničen brojem portova za razliku od Etherneta zbog čega može podržati jako velik broj terminalnih uređaja, do nekoliko stotina njih.

2.1. Povijest WLAN mreža

Temelje za razvoj bežičnih tehnologija postavio je 1887. godine njemački fizičar Heinrich Hertz kada je generirao prve radiovalove u svom laboratoriju i time potvrdio Maxwellove pretpostavke. Tek nekoliko godina kasnije, talijanski fizičar i inženjer Guglielmo Marconi patentirao je primjenu elektromagnetskih valova za bežičnu telegrafiju. 1901. godine, Marconi je uspio omogućiti prijenos radiosignala preko Atlantskog oceana ostvarivši prvi korak u međukontinentalnoj komunikaciji. Daljnji napredak ove tehnologije vezan je za njenu uporabu u vojsci, a puni zamah je doživjela u Drugom svjetskom ratu [3].

Prva bežična komunikacijska mrežu razvijena je 1971. godine na Sveučilištu na Havajima i nazvana je *ALOHAnet*. Mrežu je činilo sedam računala na četiri otoka koja su komunicirala sa centralnim računalom na otoku Oahu bez uporabe telefonskih linija. Ovo je ujedno i prva mreža sa komutacijom paketa [3].

U početku je bežična mreža korištena samo kao alternativa ili proširenje ožičenim mrežama, a razlog tomu su bile visoke cijene hardverske opreme, male brzine prijenosa i nužnost posjedovanja dozvola za rad. Danas bežične mreže predstavljaju ekonomičnije rješenje, smanjuju vrijeme i troškove instalacije mreže. Stekle su ogromnu popularnost u raznim oblastima, kao što su zdravstvo, trgovina, proizvodnja, skladištenje i obrazovanje. Potakle su razvoj manjih prijenosnih terminalnih uređaja kao što su pametni telefoni, tableti i

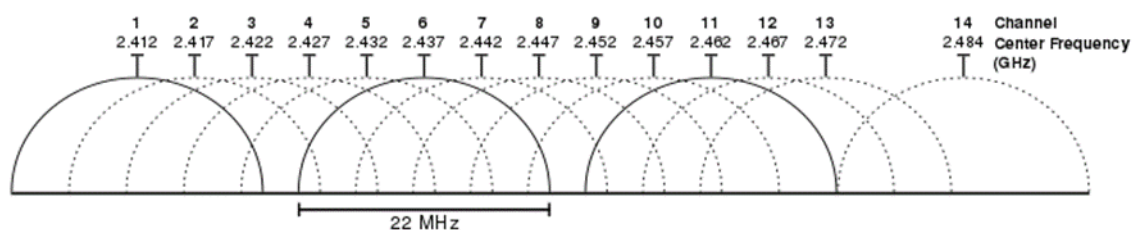
drugi uređaji koji imaju sposobnost komunikacije i prijenosa podataka u stvarnom vremenu komutacijom paketa.

Razna rješenja i protokoli su korišteni za bežične lokalne mreže u početku, tek krajem 90-ih godina IEEE 802.11 postaje prvi standard za bežične LAN mreže. Standard IEEE 802.11 definira dva sloja, fizički sloj i sloj podatkovne veze koji definiraju način komunikacije u bežičnim lokalnim mrežama.

2.2. Osnovno o WLAN tehnologijama

Bežične LAN mreže su računalne mreže koje koriste elektromagnetske valove za komunikaciju, odnosno koriste EM valove u radijskom ili infracrvenom frekvencijskom području. WLAN mreže koriste spektar frekvencija koji nije obuhvaćen nikakvim regulacijama i restrikcijama. Taj nelicencirani spektar naziva se ISM (engl. *Industrial, Scientific and Medical*) pojas. Negativna strana toga je što se taj spektar dijeli sa drugim nekim uređajima zbog čega je bežični LAN prijenos izložen interferenciji. Glavna dva pojasa koja se koriste za 802.11 mreže su 2.4 GHz i 5 GHz pojas.

2.4 GHz pojas, koji koriste 802.11 mreže, posjeduje 14 kanala koji su dio ISM pojasa (slika 1). Svih 14 kanala nisu dozvoljeni u svim zemljama, 11 ih je dopušteno u Sjevernoj Americi, a 13 u Europi. Kanali su širine 22 MHz sa međusobnim razmakom od 5 MHz (12 MHz između zadnja dva kanala). Svaki idući kanala se preklapa u 75% pojasa prethodnog kanala, zbog čega se najviše tri kanala mogu konfigurirati za upotrebu, a da se ne preklapaju (1, 6 i 11 kanal). Sa 802.11n standardom je omogućeno spajanje kanala kako bi se povećala propusnost. Tako je omogućeno korištenje kanala širine 40 MHz, ali tada bi bilo moguće implementirati samo jedan takav kanal [4].



Slika 1 Prikaz 2.4 GHz frekvencijskog pojasa.

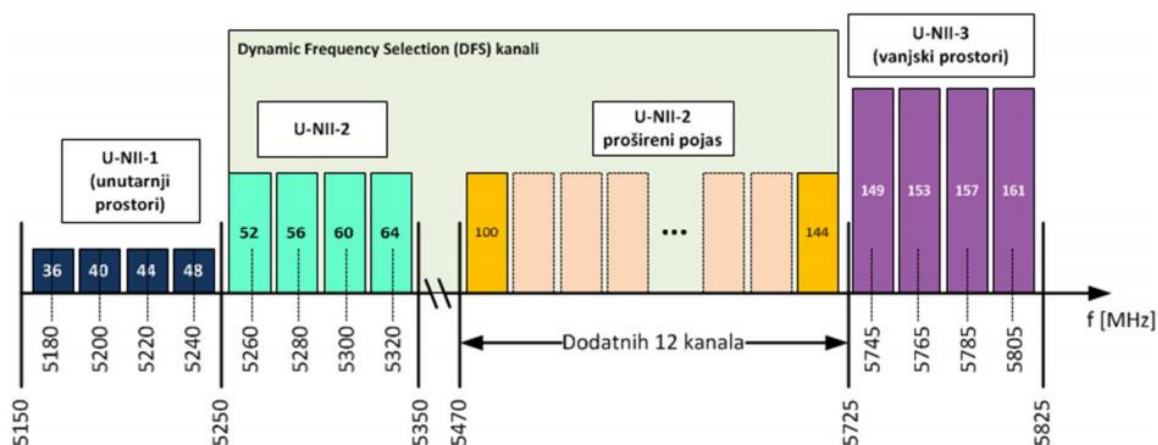
Preuzeto od [5].

2.4 GHz pojas postajao sve opterećeniji, zbog čega je 5 GHz pojas bio sve više u upotrebi. 5 GHz pojas je definiran prema U-NII (engl. *Unlicensed National Information Infrastructure*) specifikacijama i sadrži 24 kanala za nelicenciranu upotrebu (slika 2). Kanali su

široki 20 MHz, a centralne frekvencije su im odvojene 20 MHz. Kanali su podijeljeni u četiri skupine:

- U-NII-1
- U-NII-2
- U-NII-2 prošireni (engl. *Extended*)
- U-NII-3

U 5 GHz pojasu kanale je također omogućeno spajati kako bi se dobila veća propusnost, no za razliku od 2.4 GHz pojasa, ovdje nema preklapanja te se kanali širine 40 MHz mogu slobodnije koristiti. Također, moguće ih je proširiti na 80 MHz i 160 MHz. U DFS (engl. *Dynamic Frequency Selection*) području moguća je interferencija sa vremenskim ili Doppler radarom, no ako pristupna točka posjeduje DFS funkcionalnost, tada se automatski prebacuje na drugu frekvenciju u slučaju prisustva radara [4].



Slika 2 Prikaz 5 GHz frekvencijskog pojasa.

Preuzeto od [4].

2.3. Protokolarni složaj IEEE 802.11 mreže

2.3.1. OSI referentni model

U kasnim sedamdesetima, uvođenjem računalskih komunikacija putem javne mreže te razvojem paketnih i integriranih višeslužnih mreža, postalo je nužno razraditi koncept ustrojavanja telekomunikacijske mreže. Posljedično tome, ISO (engl. *International Organization for Standardization*) je pokrenula rad na referentnom modelu povezivanja otvorenih sustava. Kao rezultat tog rada, 1984 godine, prihvaćen je OSI (engl. *Open System Interconnection*) referentni model [6].

OSI model je najpoznatiji i najčešće korišten model za povezivanje otvorenih sustava, kojeg se proizvođači pridržavaju pri projektiranju mrežnih proizvoda. Naime, on opisuje način na koji mrežni hardver i softver zajednički djeluju kako bi se ostvarila komunikacija. Model pomaže pri rješavanju raznih problema kao što su podjela mreže na manje i jednostavnije segmente, osiguravanje okruženja za mrežni razvoj, omogućava proizvođačima da se bave određenim segmentom i drugo [6].

OSI referentni model definira sedam protokolskih razina (tablica 1). Svaka razina, odnosno sloj, označava različite funkcije i usluge pri prijenosu podataka s jednog na drugi terminalni uređaj. OSI model definira kako svaki sloj komunicira i surađuje sa susjednim. Slojevi su međusobno razdvojeni sučeljima, svi zahtjevi jednog sloja prosljeđuju se preko sučelja. Svaki sloj se oslanja na standarde i aktivnosti sloja ispod njega.

Na OSI referentnom modelu temelje se i IEEE 802.11 mreže, koje definiraju prva dva sloja: fizički sloj i sloj podatkovne veze.

Tablica 1 OSI referentni model, IEEE 802.11 definira fizički sloj i sloj veze podataka.

7.	Aplikacijski sloj (<i>Application Layer</i>)
6.	Prezentacijski sloj (<i>Presentation Layer</i>)
5.	Sloj sesije (<i>Session Layer</i>)
4.	Transportni sloj (<i>Transport Layer</i>)
3.	Sloj mreže (<i>Network Layer</i>)
2.	Sloj podatkovne veze (<i>Data Link Layer</i>)
1.	Fizički sloj (<i>Physical Layer</i>)

2.3.2. Fizički sloj IEEE 802.11 mreže

802.11 fizički sloj osigurava usluge bežičnog prijenosa MAC podsloju. Fizički sloj svakog 802.11 tipa je osnova po kojoj se međusobno razlikuju, 802.11 kao standardizacijsko tijelo definira različite tehnologije koje se koriste i po kojima se razlikuju. Tablicom 2 prikazani su fizički sloj i sloj veze podataka te njihovi podslojevi.

Neovisno o kojem tipu, svaki 802.11 fizički sloj ima dva podsloja: [7]

- PLCP (engl. *Physical Layer Convergence Procedure*)
- PMD (engl. *Physical Medium Dependant*)

Tablica 2 Prikaz podslojeva fizičkog sloja i sloja veze podataka.

LLC podsloj	Sloj veze podataka
MAC podsloj	
PLCP podsloj	Fizički sloj
PMD podsloj	

MAC podsloj komunicira sa PLCP podslojem sa „osnovnim funkcijama“ preko servisne pristupne točke (engl. *Service Access Point* – SAP). Kada MAC podsloj preda naredbu, PLCP priprema MPDU (engl. *MAC Protocol Data Units*) za transmisiju. PLCP definira metode mapiranja jedinica podataka MAC podsloja u odgovarajući format okvira pogodan za slanje i primanje korisničkih podataka i upravljačkih jedinica između stanica pridruženog PMD sustava. PMD sustav definira karakteristike i metode slanja i primanja podataka preko bežičnog medija. Kako bi si osigurao te usluge, PMD je u izravnoj vezi sa bežičnim medijem i osigurava modulaciju i demodulaciju okvira [7].

PLCP također posjeduje funkcije koje na predajnoj strani omogućuju MAC podsloju da obavijesti fizički sloj kad kada će početi sa slanjem podataka i kada je slanje završeno, dok s druge strane, odnosno na prijemnoj strani omogućava fizičkom sloju da obavijesti MAC podsloj kad je počeo primati podatke s druge stanice i da ga obavijesti o završetku prijema.

WLAN koristi *half-duplex* način komunikacije, što znači da se komunikacija odvija u oba smjera, ali ne istovremeno. Ovo ograničenje postoji zbog toga što i klijent i pristupna točka koriste isti kanal za komunikaciju, zbog toga mogu samo ili primati ili slati podatke. Posljedično tomu, fizički sloj posjeduje mehanizam koji se koristi za izbjegavanje sudara – otkrivanje nositelja/procjena zauzeća kanala (engl. *Carrier Sense/Clear Channel Assesment* – CS/CCA). Ova operacijska funkcija predstavlja postupak otkrivanja početka signala sa različitih stanica i procjenjuje da li je kanal slobodan za slanje. Operacija se izvodi kada je prijemnik uključen i stanica ne zaprima i ne šalje nikakve pakete [7].

Originalni 802.11 standard je definirao je tri tehnologije rada na fizičkoj razini bežičnih LAN-ova (tablica 3): [8]

- Infracrveni frekvencijski pojas (engl. *Infra Red*)
- Skokovita promjena nosive frekvencije (engl. *Frequency Hopping Spread Spectrum* – FHSS)
- Izravnim proširenjem spektra signala (engl. *Direct Sequence Spread Spectrum* – DSSS)

Potonje dvije tehnologije koriste mikrovalno područje za transmisiju, odnosno 2.4 GHz frekvencijski pojas. FCC (engl. *Federal Communications Commission*) je odredio ovaj za ISM

bezlicencnu uporabu. S druge strane infracrvena tehnologija nema neku konkretnu implementaciju [7].

Kasnije je standardom 802.11a uveden i frekvencijski multipleks višestrukih ortogonalnih podnosilaca (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* – OFDM) (tablica 3).

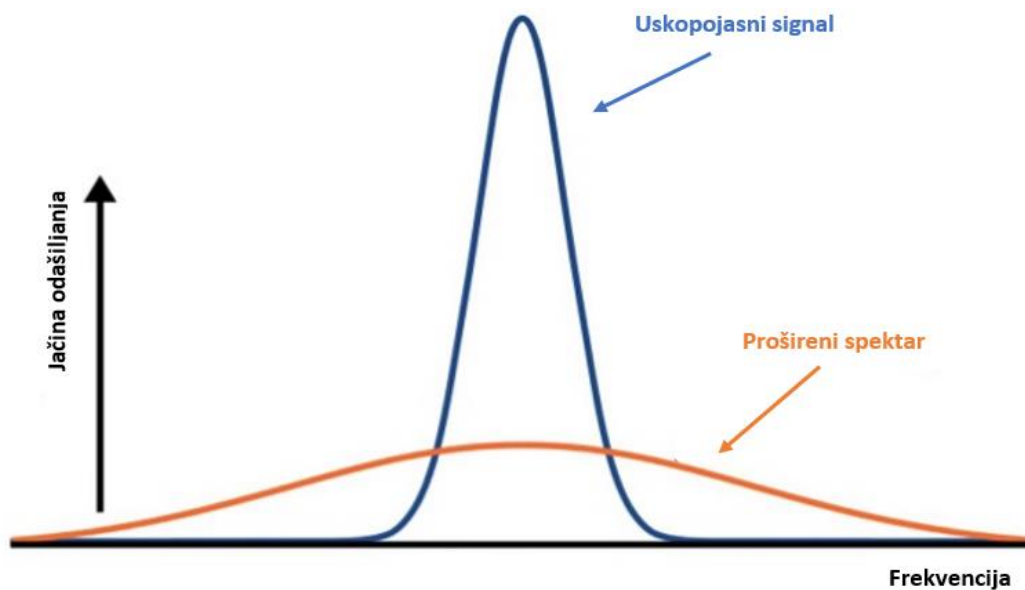
Tablica 3. Prikaz fizičkog sloja i sloja veze podataka te korištenih mehanizama i tehnologija.

802.11 Logical Link Control (kontrola greške, upravljanje tokovima)				2. Sloj veze podataka
802.11 Medium Access Control (CSMA/CA)				
IR	FHSS	DSSS	OFDM	1. Fizički sloj

Preuzeto od [4].

Uskopojasni prijenos je komunikacijska tehnologija koja koristi samo onoliko frekvencijskog opsega koliko je potrebno za prijenos signala (slika 3). Da bi uskopojasni prijenos bio razumljiv na drugoj strani, mora bit znatno iznad općeg praga buke, zbog toga je snaga signala jako visoka.

Prošireni spektar je komunikacijska tehnologija karakterizirana širokim prijenosnim opsegom i niskom snagom prijenosa (slika 3). Prijenos u proširenom spektru posebna je tehnika prijenosa gdje se signal prenosi na način da se informacija raspoređuje po mnogo širem frekvencijskom području nego što je uistinu potrebno [9]. Zbog niže spektralne gustoće snage nema interferencije u značajnoj mjeri, zbog čega je i manja vjerojatnost gubitka podataka. Zbog toga će većini radio prijemnika, signal proširenog spektra izgledati kao šum i neće ga pokušati demodulirati, zbog čega je tehnologija proširenog spektra znatno sigurnija [7].

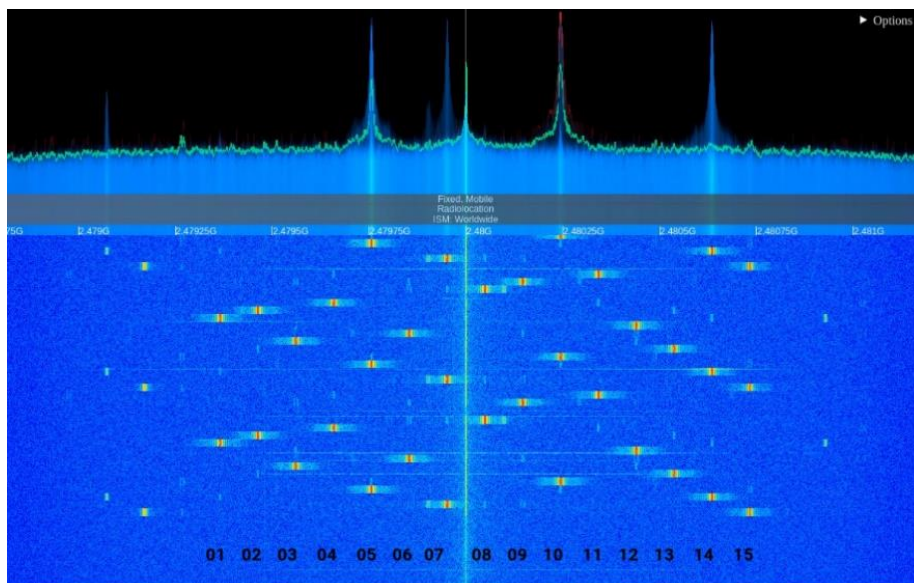


Slika 3 Razlika signala proširenog spektra i uskopojasnog signala.

Preuzeto [10].

2.3.2.1. FHSS

Skokovita promjena nosive frekvencije (FHSS) predstavlja tehniku prijenosa radio signala tako da nositelj mijenja frekvenciju, odnosno skače prema nekoj pseudoslučajnoj sekvenci koja je već poznata predajniku i primatelju. Predajnik i primatelj su sinkronizirani, predajnik šalje, a primatelj prima na određenoj frekvenciji. Pseudoslučajna sekvenca je lista frekvencija na koje će nositelj skočiti u određenim vremenskim intervalima. Nositelj će se pri tome zadržati na svakoj frekvenciji određeno vrijeme (engl. *Dwell Time*), nakon čega će skočiti na sljedeću frekvenciju. Nakon što prođe sve frekvencije koje je trebao proći, sekvenca se ponavlja sve dok ne dođe do prijemnika. FHSS je definiran za 2.4 GHz pojas i radi na 79 frekvencija, od 2.402 GHz do 2.480 GHz. FHSS je poprilično robusna tehnika prijenosa, no osjetljiva je na uskopojasnu interferenciju. Ako interferencija postoji na određenoj frekvenciji na kojoj je i nositelj, onda će taj dio signala biti izgubljen. Ostatak signala je netaknut dok će se taj izgubljeni dio ponovo poslati [11]. Primjer skokovite promjene frekvencija prikazan je slikom 4.



Slika 4 Screenshot pseudoslučajne sekvence sa prikazanim kanalima.

Preuzeto od [11].

2.3.2.2. DSSS

Izravno proširenje spektra signala (DSSS) tehnika prijenosa koju karakteriziraju lakoća implementacije i veće brzine prijenosa u odnosu na FHSS. Ova tehnologija posjeduje sposobnost rada u uvjetima niskog odnosa signala i šuma uzrokovanog interferencijom. Tehnologija proširenja spektra signala primjenjuje modulacijski pristup koji koristi znatno više spektralnog opsega nego li je potrebno za prijenos podataka. Svaki bit se zamjenjuje širokopojasnim kodom. DSSS kodira podatke uzimajući niz podataka sa sloja veze podataka i pretvara ih u niz čipova. Za pretvaranje niza podataka u niz čipova koristi se Barkerovo (1 i 2 Mbit/s kod 802.11b) i CCK (engl. *Complementary Code Keying*) kodiranje (5.5 i 11 Mbit/s kod 802.11b). DSSS je doživio uspjeh na tržištu zbog otpornosti na interferenciju, ali posjeduje nedostatak kada je riječ o brzini [7].

2.3.2.3. OFDM

Frekvencijski multipleks višestrukih ortogonalnih podnosilaca (OFDM) jedna je od višekanalnih modulacijskih shema koje su stvorene radi prijenosa podataka u uvjetima međusimbolnih interferencija¹. Umjesto da se sadržaj neke poruke modulira na samo jedan

¹ Međusobno ometanje elemenata signala.

nosilac, modulira se na više podnosilaca kako bi se ostvarila veća otpornost na pogreške u prijenosu u urbanim sredinama.

2.3.3. Sloj veze podataka IEEE 802.11 mreže

Sloj veze podataka u 802.11 mreži čine dva podsloja: *Logical Link Control* (LLC) i *Media Acces Control* (MAC). 802.11 mreže koriste isti LLC podsloj i 48-bitno adresiranje kao i druge 802 mreže. Ono što se razlikuje od ostalih 802 mreža jest MAC podsloj. MAC podsloj je dizajniran da podrži više korisnika na dijeljenom mediju tako što pošiljalatelj prvo provjerava da li je medij zauzet prije nego što ga počne koristiti. U Ethernet mrežama, stanice su sposobne osjetiti koliziju na mediju. Za razliku od Etherneta, 802.11 mreže nemaju sposobnost osjetiti koliziju, one nastoje izbjeći koliziju, a za to koriste mehanizam CSMA/CA [12].

2.3.3.1. CSMA/CA mehanizam

Ethernet mreže koriste CSMA/CD (engl. *Carrier-Sense Multiple Access With Collision Detection*) mehanizam, koji radi na principu da svaki učesnik koji želi govoriti mora sačekati da drugi prestanu govoriti, kad medij postane slobodan, onda može početi govoriti. Ako oba govore u isto vrijeme, oba moraju prestati i ponovo pokušati. CSMA/CA (engl. *Carrier-Sense Multiple Access With Collision Avoidance*) ima mnogo stroža pravila od CSMA/CD. Prije govora, učesnici najprije moraju definirati koliko dugo planiraju govoriti kako bi drugi znali koliko moraju čekati, učesnici ne mogu govoriti dok naznačeno trajanje razgovora ne istekne. Učesnici ne znaju da li je njihova poruka primljena dok ne dobiju potvrdu govora, a ako ne dobiju potvrdu primitka poruke, čeka se slučajno izabrano vrijeme i pokušavaju ponovo govoriti. Implementacija CSMA/CA je ostvarena preko DCF-a (engl. *Distributed Coordination Function*).

Stanica može odrediti stanje medija korištenjem dvije metode:

- Fizičkom provjerom nositelja
- Virtualnom provjerom nositelja

Fizička provjera poznata je još i kao *Clear Channel Assessment* (CCA). CCA metoda podrazumijeva osluškivanje medija i određivanje da li je količina RF energije na mediju veća od neke unaprijed određene vrijednosti. Sama ova metoda nije dovoljna da se odredi da li je medij slobodan, budući da se sve stanice u BSS-u ne moraju čuti, ali sve moraju čuti pristupnu točku.

Da bi stanica utvrdila da je medij slobodan, i fizička i virtualna metoda moraju utvrditi da je medij slobodan. Virtualna metoda koristi mjeritelje vremena (engl. *Network Allocation Vector – NAV*).

2.3.3.2. RTS/CTS mehanizam i problem skrivenog čvora

Prilikom svakog primitka poruke bežična stanica odgovara slanjem ACK (engl. *Acknowledgement*) paketa. Ukoliko ACK paket ne stigne do pošiljatelja, on se ponovo šalje. Ako se dogodi da nakon više pokušaja paket opet ne stigne, onda se mora koristiti RTS/CTS mehanizam.

U svrhu sprječavanja kolizije koja nastaje kao posljedica emitiranja dviju stanica u isto vrijeme koristi se RTS/CTS mehanizam. Kada pošiljatelj želi poslati paket, on može odredišnoj stanici prvo poslati RTS (engl. *Request To Send*) okvir i naznačuje ukupno vrijeme potrebno za prijenos podataka i paketa potvrde (ACK). Kada odredišna stanica dobije RTS okvir onda odgovara CTS (engl. *Clear To Send*) okvirom čime obavještava pošiljatelja da je spreman primiti njegove pakete i da u tom vremenskom periodu neće imati druge komunikacije s nekim drugim.

Skriveni čvor je pojava koja se javlja kada imamo dva ili više klijenata koji su u dosegu pristupne točke, ali ne i međusobno zbog prepreka, opadanja signala ili nečega sličnog, za razliku od Etherneta gdje se svaki klijent direktno vidi sa nekim drugim klijentom. Zbog ovoga stanice koje se ne vide prisiljene su komunicirati preko pristupne točke.

Iako RTS/CTS mehanizam dovodi do smanjenja kolizija on uzrokuje ujedno i znatno mrežno preopterećenje. Zbog toga je RTS/CTS na većini bežičnih LAN-ova isključen te zbog toga on treba biti konfiguriran nakon pažljive procijene mreže.

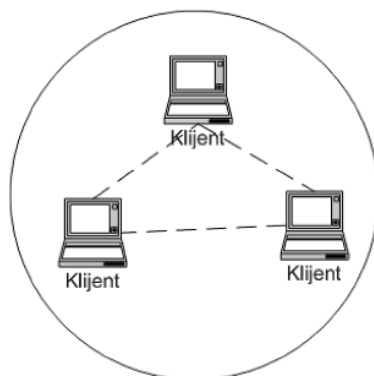
2.4. Arhitektura 802.11 mreže

Logička arhitektura 802.11 mreže posjeduje nekoliko glavnih komponenti: [13]

- Stanica (engl. *Station – STA*)
- Neovisni osnovni servis set (engl. *Independent Basic Service Set – IBSS*)
- Osnovni servis set (engl. *Basic Service Set – BSS*)
- Prošireni servis set (engl. *Extended Service Set – ESS*)
- Distribucijski sustav (engl. *Distribution System – DS*)

Bežična stanica posjeduje mrežnu karticu, PC karticu ili ugrađeni uređaj koji osigurava bežičnu konekciju. Bežična stanica je u biti bežična pristupna točka. Ona je zadužena za slanje i primanje podataka od i prema terminalnim uređajima koji su njoj pridruženi.

Neovisni osnovni servis set (IBSS) pokriva jednu ćeliju i ima jedan SSID. Klijenti u IBSS-u prave izravne veze jedni prema drugima kad šalju podatke (slika 5). Ona nema pristupne točke ili nekog drugog pristupa distribucijskom sustavu. Ona je poznata i kao *ad hoc* mreža [13].



Slika 5 Neovisni servis set.

Preuzeto od [7].

Osnovni servis set (BSS) je bežična mreža koju čine jedinstvena bežična pristupna mreža koja posluhuje jednog ili više klijenata (slika 6). U BSS-u sve stanice komuniciraju preko pristupne točke, nema izravnog prijenosa klijent-klijent. Pristupna točka je spojena sa žičnom mrežom, ona osigurava konekciju sa žičnom mrežom [13]. BSS pokriva samo jednu ćeliju oko pristupne točke, sa različitim brzinama prijenosa podataka i koja će ovisiti o korišteno tehnologiji i udaljenosti od pristupne točke.

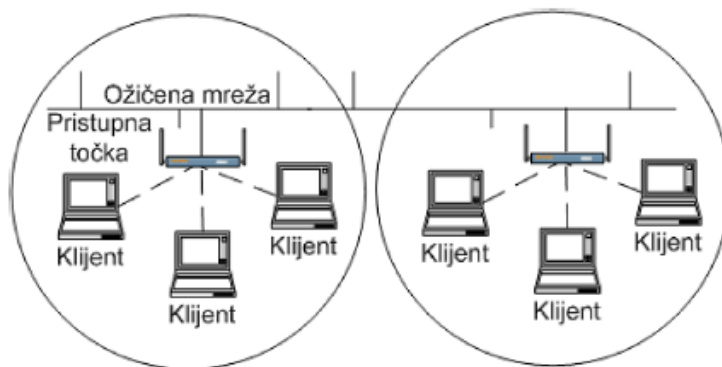


Slika 6 Osnovni servis set.

Preuzeto od [7].

Prošireni servis set (ESS) je sačinjen od dvije ili više pristupne točke koje su povezane na istu žičnu mrežu ograničenu na jedan usmjernik (slika 7). Odnosno, on označava

konfiguraciju od dva ili više osnovnih servis setova. ESS također operira u infrastrukturnom načinu rada. ESS pokriva više ćelija i dozvoljava mogućnost *roaminga*. SSID ne mora biti isti u pojedinačnim BSS-ovima [13].



Slika 7 Prošireni servis set.

Preuzeto od [7]

Pristupne točke iz više osnovnih servis setova su međusobno povezane distribucijskim sustavom. Distribucijski sustav omogućava *roaming* između BSS-ova, odnosno dozvoljava stanicama da se prelaze iz jednog BSS-a u drugi. Pristupne točke mogu biti međusobno žično povezane ili bežično.

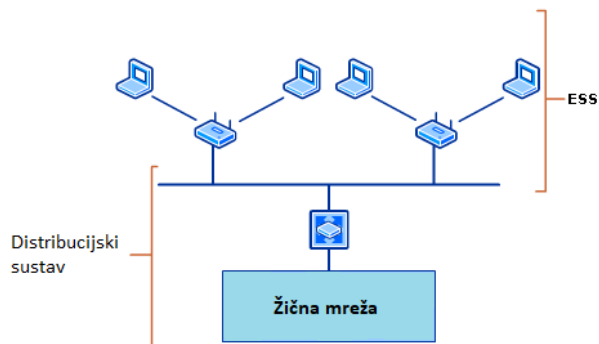
2.4.1. Načini rada 802.11 mreže

IEEE 802.11 definira dva načina rada bežičnih LAN mreža:

- Infrastrukturni način
- *Ad hoc* način

U oba načina rada mreže, SSID identificira mrežu. SSID (engl. *Service Set Identifier*) je jedinstvena, znakovno osjetljiva, alfanumerička vrijednost koja se koristi od strane bežičnih LAN-ova kao mrežno ime. U infrastrukturnom radu to je ime koje je konfigurirano na pristupnoj točki ili u *ad hoc* načinu rada, ime na bežičnom klijentskom uređaju.

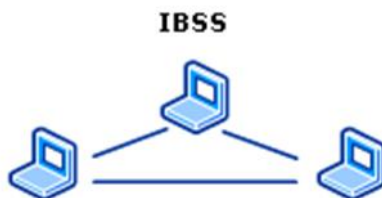
U infrastrukturnom načinu, WLAN mreža je sačinjena od bežičnih stanica kao i jedne ili više pristupne točke (slika 8). Klijent, odnosno bežična stanica, koristi pristupnu točku kako bi pristupila tradicionalnoj žičnoj mreži.



Slika 8 Infrastruktorni način.

Preuzeto od [13].

U *ad hoc* načinu rada, bežični klijenti komuniciraju izravno sa svim drugim klijentima, bez pristupne točke kao posrednika (slika 9). *Ad hoc* je također poznat i kao *peer-to-peer* način. Klijenti u *ad hoc* mreži formiraju neovisni osnovni servis set te jedan od tih klijenata, onaj prvi u bežičnoj mreži IBSS-a preuzima neke uloge pristupne točke. *Ad hoc* način rada se koristi kada stanice žele komunicirati, a pristupna točka nije prisutna. Najveći broj stanica u *ad hoc* načinu rada je njih devet.



Slika 9 Ad hoc način rada.

Preuzeto od [13].

2.4.2. WLAN uređaji

Osnovni mrežni elementi 802.11 mreže su: [4]

- Bežični LAN klijentski uređaji – primopredajnik (engl. *Transceiver/Receiver*)
- Pristupna točka (engl. *Access Point*)
- Antena

2.4.2.1. Bežični LAN klijentski uređaji

WLAN klijentski uređaji su uređaji krajnjih korisnika kao što su na primjer prijenosno računalo, pametni telefoni, desktop računalo, PDA (engl. *Personal Digital Assistant*), bežični printeri i drugo. To su svi uređaji koji trebaju bežičnu vezu do mrežne infrastrukture. Kako bi se ostvarila bežična veza potrebno je posjedovati neki od WLAN radio-uređaja: [7]

- PCMCIA, *Compact Flash* i *Secure Digital* kartice – najčešća komponenta bilo koje bežične mreže jest PCMCIA (engl. *Personal Computer Memory Card International Association*) kartica, poznata i kao PC kartica. Koristi se u prijenosnim računalima i PDA uređajima i koristi se kao veza između klijentskog uređaja i mreže. *Compact flash* kartice su slične PC karticama u funkcionalnosti, no one su znatno manje, troše manje energije i koriste se u PDA uređajima. U novije vrijeme proizvođači isporučuju 802.11b kartice u SD formatu.
- Ethernet i serijski konvertori – oni se koriste u uređajima koji imaju Ethernet ili 9-pinski serijski port s ciljem pretvorbe ovih mrežnih konektora u bežične LAN konektore.
- USB adapter – oni su dosta popularni zbog jednostavnosti korištenja i povezivanja, podržavaju *plug-n-play*.
- PCI i ISA adapteri – koriste se kod desktop ili serverskih računala. PCI (engl. *Peripheral Component Interconnect*) uređaji su *plug-n-play*, a javljaju se i kao prazne PCI kartice koje se umeću u PCM-CIA slot i zatim se instaliraju na računalo. ISA (engl. *Industry Standard Architecture*) kartice nisu *plug-n-play* i zahtijevaju ručnu konfiguraciju.

2.4.2.2. Pristupne točke

Pristupna točka je uređaj koji omogućuje bežičnim uređajima pristup žičnoj mreži. Pristupna točka komunicira sa bežičnim klijentima, Ethernet mrežom i drugim pristupnim točkama. Svaka pristupna posjeduje mrežni naziv (SSID). Pristupna točka može biti konfigurirana za rad u tri različita moda: [4]

- Korijenski način (engl. *Root mode*) – predstavlja osnovni način rada, pristupnu točku na koju se klijenti izravno spajaju, a koja je povezana sa žičnom osnovicom preko svog Ethernet sučelja. Više pristupnih točaka u korijenskom načinu rada, povezane međusobno distribucijskim sustavom mogu međusobno komunicirati preko žičnog segmenta.
- Most način (engl. *Bridge mode*) – pristupna točka se koristi u svrhu premošćivanja dva ili više fizički odvojena dijela mreže od kojih svaka ima svoj SSID.

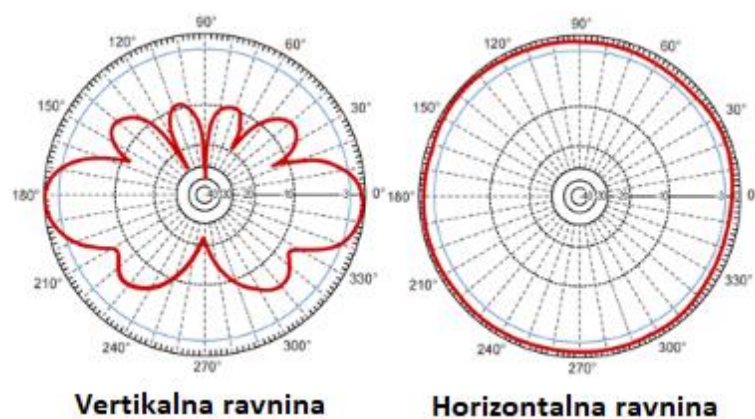
- Ponavljački način (engl. *Repeater mode*) – u ponavljačkom načinu rada pristupna točka omogućuje povećanje područja pokrivanja signalom. Pristupna točka je s jedne strane povezana sa korisnicima, a s druge strane, kao klijent, povezana na drugu pristupnu točku.

2.4.2.3. Antene

Antena je uređaj koji konvertira visoko-frekvencijske elektromagnetske signale s linije prijenosa, sa kabla ili valnog vodiča, u šireće radiovalove u zraku i obratno. Odgovarajući izbor antene je jako bitan za kvalitetu mreže, različiti prostori zahtijevaju različite konfiguracije antena. Koristi se nekoliko vrsta antena u bežičnim LAN mrežama:

- Omni-direkcionalna antena
- Polu-direkcionalna antena
- Visoko-direkcionalna antena
- *Diversity* antena

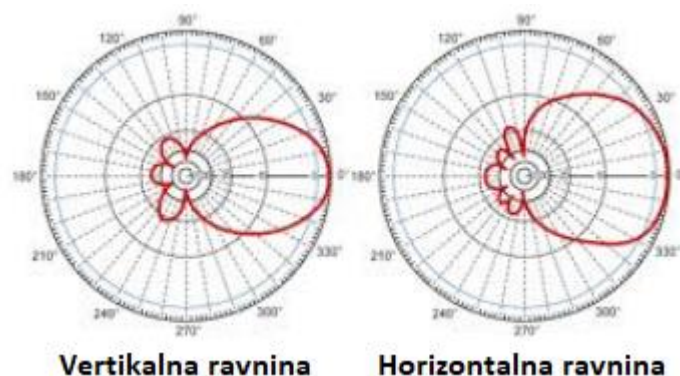
Omni-direkcionalna (dipol) antena je najčešće korištena antena u *indoor* uporabi i obično spada u standardnu opremu pristupnih točaka. Dipol antena zrači energiju svim smjerovima oko sebe, ali ne i okomito. Omni-direkcionalne antene velikog dohvata nude više vodoravnih područja pokrivanja, a okomito pokrivanje područja je smanjeno. Na slici 10 je prikazan uzorak zračenja tipične dipol antene [14].



Slika 10 Uzorak zračenja omni-direkcionalne (dipol) antene u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Vanjska kružnica definira 0 dB gubitka, dok unutrašnje plave kružnice predstavljaju gubitke od 3, 10, 20, 30, 40 dB.

Preuzeto od [14].

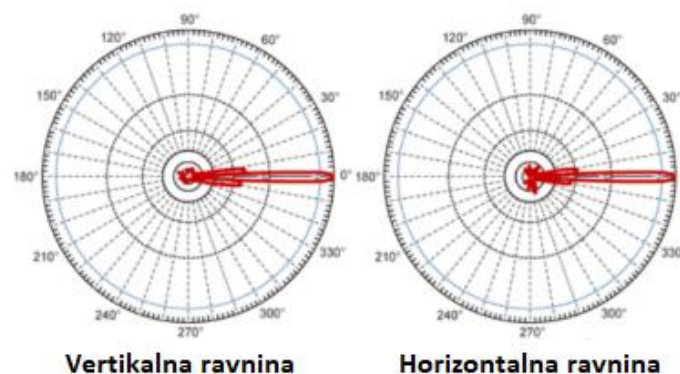
Polu-direkcionalna antena javlja se u više različitih stilova i oblika. Ove antene svoju energiju usmjeravaju u jednom određenom smjeru (slika 11). Najčešće korištene antene u bežičnim mrežama su *Patch*, *Panel* i *Yagi* [7].



Slika 11 Uzorak zračenja polu-direkcionalne antene u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Vanjska kružnica definira 0 dB gubitka, dok unutrašnje plave kružnice predstavljaju gubitke od 3, 10, 20, 30, 40 dB.

Preuzeto od [14].

Visoko-direkcionalna antena zrači isključivo u jednom smjeru (slika 12) te se koristi za točka-točka komunikacijske veze i mogu odašiljati na velike razdaljine. Koriste se za premošćivanje WLAN mreža.



Slika 12 Uzorak zračenja visoko-direkcionalne antene u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Vanjska kružnica definira 0 dB gubitka, dok unutrašnje plave kružnice predstavljaju gubitke od 3, 10, 20, 30, 40 dB.

Preuzeto od [14].

Diversity antena se sastoji od većeg broja antena koje funkcioniraju zajedno s ciljem pružanja što bolje kvalitete signala. Može biti i *dual band*, odnosno može podržati prijenos u 2.4 i 5 GHz pojasu. Modem posjeduje inteligenciju da odabere koju će antenu koristiti na osnovu pokazanih performansi.

2.4.3. Sigurnost 802.11 mreže

2.4.3.1. SSID

Servis set identifikator je jedinstvena, znakovno osjetljiva, alfanumerička vrijednost koja se koristi od strane bežične LAN mreže kao mrežno ime. Imenovanje ima uloga segmentiranja mreža te kao najjednostavnija sigurnosna mjera. Da bi se klijent mogao autentificirati i asocirati, SSID bežične stanice se mora poklapati sa SSID-om pristupne točke, odnosno drugih stanica (*ad hoc* način rada) [7].

2.4.3.2. Autentikacija

Autentikacija je proces kroz koji se identitet bežičnih čvorova verificira od strane mreže na koju se čvor pokušava povezati. Pristupna točka na taj način provjerava da li je klijent onaj za kojeg se predstavlja. Ponekad je ona nepostojeća. Klijent počinje autentikacijski proces slanjem okvira zahtjeva za autentikacijom ka pristupnoj točki (u infrastrukturnom načinu). Pristupna točka će prihvatiti ili odbaciti ovaj zahtjev, obavještavajući stanicu o svojoj odluci slanjem okvira autentikacijskog odgovora.

2.4.3.3. Asociranje

Nakon što klijent prođe fazu autentikacije vrši se proces pridruživanja klijenta sa pristupnom točkom. Asociranje je stanje u kojem je klijentu dozvoljeno da šalje podatke kroz pristupnu točku.

2.4.3.4. Sigurnosni standardi

Pored raznih pogodnosti i fleksibilnosti bežične mreže, one su mnogo više izložene nekim sigurnosnim prijetnjama nego žične mreže. Sigurnosni problemi kao što su neautorizirani pristup, DoS napadi, predstavljanje pod lažnom IP ili MAC adresom i prisluškivanje sesija mogu ozbiljno ugroziti privatnost korisnika ili onesposobiti poslužitelje. Kako bi se osiguralo korisnicima sigurno korištenje bežične mreže, IEEE je razvio razna rješenja u 802.11 autentikaciji i enkripciji koja su nadograđiva i upravljiva. Neki od standarda koji se koriste za poboljšanje sigurnosti 802.11 mreže su WEP, WPA, WPA2 i WPA3.

WEP (engl. *Wired Equivalent Privacy*) je razvijen kao prvi enkripcijski algoritam predstavljen sa standardom 802.11b. Svrha WEP algoritma je bila da osigura sigurnost

prijenosa podataka preko bežičnih LAN mreža, no zbog raznih nedostataka nije u potpunosti uspijeva u tome. WEP je simetrični algoritam koji koristi isti tajni ključ za kriptiranje i dekriptiranje, a protokol uključuje metode utvrđivanja mijenjanja sadržaja poruke između izvorišta i odredišta. Duljina WEP ključa ovisi o standardu, tako postoje ključevi duljine 64, 128 i 256 bita.

WPA (engl. *Wi-Fi Protected Access*) je sigurnosni standard koji je razvijen od strane Wi-Fi alijanse koji koristi tajni ključ duljine 128 bita, ali i znatno sofisticiraniju enkripciju podataka i autentikaciju od WEP-a.

WPA2 je dosta sličan svom prethodniku, štoviše temelje se na istom standardu, 802.11i. WPA2 uključuje sve mehanizme koje koristi i WPA, ali sa određenim poboljšanjima. Koristi tajne ključeve duljine 128, 192 i 256 bita.

Krajem siječnja 2018. godine, Wi-Fi alijansa predstavlja novu generaciju WPA standarda. WPA3 koristi nove sigurnosne metode i onemogućava zastarjele nasljedive protokole. WPA3 za osobnu uporabu koristi 128-bitnu enkripciju dok verzija za tvrtke koristi ključ od 192 bita [15].

2.5. Organizacije i standardi

IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) je neprofitna stručna udruga koja je ujedno i najveća stručna udruga koja pokriva široko tehničko područje. IEEE ima za svrhu služiti tehnološkim stručnjacima i širiti znanja iz raznih tehničkih polja [16]. IEEE formira radnu skupinu koja će raditi na razvoju bežičnih tehnologija, 1997. godine osniva se odbor nakon čega dolazi do nastanka osnovnog standarda, 802.11 – 1997 [17]. Konačno je odobren 1999. godine. Imao je dvije brzine prijenosa, od 1 Mbit/s i 2 Mbit/s i operirao je u 2.4 GHz ISM frekvencijskom pojasu. Njime su definirane tri tehnike prijenosa, to su bile IR, DSSS i FHSS. Ubrzo je se pojavila potreba za nadogradnjom ovog standarda pa su u narednim godinama izlazile brojne nove verzije ovog standarda.

Neki od važnijih standarda su:

- 802.11a
- 802.11b
- 802.11g
- 802.11n
- 802.11ac
- 802.11ax

2.5.1. 802.11a

Standard 802.11a predstavljen je 1999. godine, kao i 802.11b, ali je u usporedbi s njim nudio mnogo veće brzine prijenosa. Bežični LAN uređaji temeljeni na 802.11a operiraju u 5 GHz U-NII frekvencijskom pojasu. 802.11 podržava brzinu prijenosa do 54 Mbit/s sa dosta dobrim dometom odašiljanja signala, ako ne operira pri najvećoj brzini. 802.11 nacrt je predstavio i OFDM koji je omogućio tako velike brzine prijenosa. Brzina prijenosa se može smanjiti ako je potrebno na 48, 36, 24, 18, 12, 9 ili 6 Mbit/s. Za svaku brzinu prijenosa podataka kod 802.11a podnositelja koristi se odgovarajući oblik modulacija, a to su: BPSK (engl. *Binary Phase Shift Keying*), QPSK (engl. *Quadrature Phase Shift Keying*), 16-QAM (engl. *16-Quadrature Phase Shift Keying*) i 64-QAM (engl. *64-Quadrature Phase Shift Keying*). Posjeduje 12 nepreklapajućih signala širine 20 MHz, po četiri u svakom od tri U-NII opsega [18].

2.5.2. 802.11b

802.11b standard je izašao 1999. godine i bio je prvi standard koji je široko prihvaćen i ugrađivan u prijenosna računala i ostalu opremu što je potaklo razvoj Wi-Fi hotspotova za pristup emailu i za pretraživanje weba. Koristi 2.4 GHz ISM frekvencijski pojas i omogućava brzine prijenosa do 11 Mbit/s, iako je realna dvostruko manja. 802.11b za prijenos podataka koristi CSMA/CA mehanizam, koji je još predstavljen u izvornom 802.11 standardu. 802.11b koristi CCK kao modulacijsku tehniku i koja koristi DSSS kao svoju osnovu. 802.11b dijeli raspoloživi spektar u 14 kanala, pri čemu koristi kanale širine 22 MHz. 802.11b je kompatibilan sa izvornim standardom [18].

2.5.3. 802.11g

802.11g standard je odobren 2003. godine i nudio je brojna poboljšanja u odnosu na 802.11b. Kao i prethodnik, operira u 2.4 GHz ISM pojasu i omogućuje propusnost do 54 Mbit/s, ali je stvarna propusnost bila nešto više od 24 Mbit/s. 802.11g koristi OFDM modulacijski postupak koji mu dopušta da ostvari spomenute brzine prijenosa. Također se ponovno upotrebljava DSSS tehnika prijenosa. Kako bi osigurao maksimalnu propusnost i omogućio nazadnu kompatibilnost, četiri različite modulacijske sheme su korištene: ERP-DSSS (engl. *Enhanced Rate Physical DSSS*), ERP-OFDM (engl. *Enhanced Rate Physical OFDM*), ERP-PBCC (engl. *Enhanced Rate Physical Packet Binary Convolutional Coding*) i DSSS-OFDM. Koristi širinu kanala od 22 MHz uz tri upotrebljiva nepreklapajuća kanala [18].

2.5.4. 802.11n

2007. godine, usvojen je 802.11n standard koji je razvijen s ciljem da konkurira tehnologijama sa mnogo većim brzinama, kao što je Ethernet. 802.11n je ponudio neke impresivne performanse, a koje su postignute nekom novim rješenjima: [18]

- Drugačijom implementacijom OFDM-a
- Uvođenjem MIMO tehnologije
- Proširenjem kanala
- Antenske tehnologije
- Onemogućavanje nazadne kompatibilnosti kako bi se u određenim uvjetima omogućila bolja propusnost

Radi u frekvencijskom području od 2.4 GHz i 5 GHz, pri čemu se brzine prijenosa kreću od 54 Mbit/s do 600 Mbit/s sa uporabom *spatial streama* pri širini kanala od 40 MHz. Posljedica korištenja spajanja kanala je manji broj uporabljivih kanala. 802.11n koristi BPSK, QPSK i QAM modulacijske tehnike. U 802.11n korištena je nova antenska tehnologija, uvodi se mogućnost usmjeravanja snopa te uporaba raznolikosti. Raznolikost koristi dostupne antene i odabire najbolji podskup od većeg broja antena kako bi se dobili optimalni uvjeti signala [18].

Kako bi se omogućila maksimalna brzina prijenosa, nazadna kompatibilnost postaje opcionalna, budući da korištenje starijih standarda može znatno smanjiti brzinu prijenosa. Zbog toga na pristupnim točkama se uvode tri moda rada:

- *Legacy mode* (samo 802.11a, b i g)
- *Mixed mode* (mješovito 802.11a, b, g, n)
- *Greenfield mode* (samo 802.11n)

MIMO

MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*) je tehnologija koja je omogućila maksimalnu iskorištenost dostupnog *bandwidtha*. To je tehnologija koja koristi višestruke antene na odašiljaču kao i na prijemniku kako bi se omogućilo uspostavljanje više putova kojima se podaci prenose, biranjem zasebnog puta za svaku antenu. Korištenjem više antena MIMO tehnologija uspijeva da znatno poveća kapacitet danih kanala. Povećanjem antena na predajniku i prijemniku moguće je linearno povećati propusnost kanala sa svakim parom antena.

Za opisivanje sposobnosti nekog sustava koristi se oblik $a \times b : c$, gdje a predstavlja najveći broj odašiljačkih antena; b predstavlja najveći broj prijemnih antena; c je najveći broj *spatial streamova* [19].

SU-MIMO (engl. *Single-User MIMO*) je MIMO tehnologija gdje jedan odašiljač sa više antena može komunicirati sa jednim prijemnikom koji posjeduje više antena. Sa druge strane, MU-MIMO (engl. *Multi-User MIMO*) omogućava da bežični uređaj, sa jednom ili više antena, može komunicirati sa višestrukim uređajima istovremeno.

2.5.5. 802.11ac

Predstavljen krajem 2013. godine, donio je jako velike brzine prijenosa, do 7 Gbit/s. U usporedbi sa starijim standardima, uvode se širi kanali, spajanjem kanala omogućena je širina kanala od 80 i 160 MHz. Koristi 5 GHz frekvencijski pojas, više *spatial streamova*, 256-QAM modulaciju i MU-MIMO tehnologiju ograničenu na *downlink* transmisije, odnosno dozvoljava samo slanje prema više primatelja odjednom.

2.5.6. 802.11ax

802.11ax je nadolazeći standard koji bi trebao zamijeniti trenutni 802.11ac, a koji nosi sa sobom veću propusnost i bolje performanse u okruženjima sa velikom gustoćom klijenata (kolodvori, zračne luke, stadioni i sl.). 802.11ax trebao bi se početi koristiti u 2020. godini. 802.11ax operira u oba frekvencijska pojasa i koristi *full-duplex* MU-MIMO tehnologiju. Ona mu omogućava da *downlink* MU-MIMO šalje podatke prema više primatelja, a da *uplink* MU-MIMO prihvaća podatke od više pošiljatelja. 802.11ax omogućuju brzinu prijenosa od 3.5 Gbit/s po jednom *streamu*, budući da može ostvariti četiri istovremena *streama* prema jedinstvenoj točki, dobije se maksimalni teoretski *bandwidth* od 14 Gbit/s [20]. 802.11ax će koristiti 1024 QAM modulaciju.

3. Općenito o planiranju WLAN mreže

Implementiranje i održavanje bežične mreže donosi mnoge izazove u usporedbi sa tradicionalnim žičnim mrežama. Zbog nepredvidljive prirode bežičnih mreža, za ostvarenje visokih performansi potrebna je uporaba odgovarajućih profesionalnih alata. U svrhu zadovoljavanja poslovnih zahtjeva organizacije, potrebno je uzeti u obzir nekoliko faktora:

- WLAN je nevidljiv: teško je dobiti pravu sliku koliko daleko se mreža rasprostire i kako će raditi na različitim lokacijama.
- Bežične mreže su nepredvidive i osciliraju: u usporedbi sa žičanim mrežama koje rade predvidljivo s obzirom kako su projektirane, bežične pak mogu raditi drugačije u različito vrijeme, ovisno o uvjetima.
- Bežične mreže su sveprisutne: za razliku od Etherneta, koji je prostorno ograničen i posjeduje određen broj priključaka, bežične mreže omogućuju povezivanje velikog broja korisnika na velikom području.
- Planiranje kapaciteta u žičnim mrežama je jednostavno. U bežičnim mrežama ukupni kapacitet se dijeli na više korisnika u bilo kojem trenutku.

Loše dizajnirane mreže uzrokuju nezadovoljne korisnike, manju produktivnost te samim tim i nepotrebne troškove, zato je jako bitno napraviti dobar plan mreže koji zadovoljava sve zahtjeve za skalabilnost i funkcionalnost, a koji se dobivaju iz razgovora sa *stakeholderima*.

3.1. Životni ciklus modeliranja WLAN mreže

Životni ciklus modeliranja WLAN mreže je potrebno shvatiti kao iterativni proces sastavljen od više detaljno definiranih koraka. Osnovni koraci koji čine životni ciklus modeliranja mreže su: [21]

- Definiranje zahtjeva
- Kreiranje plana mreže
- Verifikacija izrađenog plana
- Instaliranje opreme i optimizacija
- Dokumentiranje, nadzor, održavanje

Za životni ciklus modeliranja WLAN mreže kažemo da je iterativni proces zbog toga što se WLAN tehnologija neprekidno razvija i poboljšava. Nakon završetka svakog ciklusa modeliranja mreže potrebno je početi iznova nastojeći unaprijediti postojeću mrežu.

Generalni koncept implementiranja WLAN mreže za različita okruženja ostaje isti, osnovna priroda radiovalova općenito su ista, no potrebno je izbjegavati slijepo praćenje

uputa za dizajniranje mreže. Svako okruženje je specifično te je potrebno ovisno o tom razvijati posebna rješenja, dok upute iz životnog ciklusa modeliranja WLAN mreže trebaju poslužiti kao okvirni vodič.

3.1.1. Definiranje zahtjeva

Definiranje zahtjeva je ključni korak pri planiranju mreže. Definiranjem zahtjeva se određuje daljnji tijek planiranja. Zahtjevi proizlaze iz razgovora sa odgovarajućim *stakeholderima* – vlasnicima i krajnjim korisnicima.

Proces definiranja zahtjeva počinje definiranjem područja koje mreža mora pokrivati i koliki broj korisnika mora podržati. Zatim treba utvrditi mogućnosti mreže koja se implementira. Različite aplikacije imaju različite zahtjeve za propusnost (tablica 4). Obično postoji neka primarna aplikacija čije korištenje mreža mora podržati. Razumijevanjem zahtjeva za propusnost aplikacije i ostalih aktivnosti saznaje se kolika treba biti propusna moć po korisniku, koja se zatim množi sa brojem korisnika koji se očekuje i dobiva se potrebna propusna moć odnosno *bandwidth*. Na kraju se utvrđuju sigurnosni zahtjevi koje mreža mora ispuniti.

Tablica 4 Zahtijevana propusnost pojedinih aplikacija.

Korištena aplikacija	Nominalna propusnost [Mbit/s]
Web	1
Audio	1
Video na zahtjev	2 - 4
Ispis	1
Preuzimanje datoteka	2 - 8
Online testiranje	2 - 4
Sigurnosno kopiranje	10 - 50

Preuzeto od [22].

3.1.2. Kreiranje plana mreže

Na osnovu utvrđenih zahtjev izrađuje se detaljan prediktivni plan ili model mreže. Za kreiranje plana se obično koristi neki od softverskih alata. Prediktivni model, kao što sam naziv sugerira, vrši predikciju ili predviđanje ponašanje mreže, uključujući propagaciju signala, brzinu prijenosa ili zagušenje.

Izrađuje se 3D model objekta sa odgovarajućim planovima katova i građevnom strukturom objekta, budući da različiti materijali utječu različito na degradaciju signala. Zatim softver na osnovu unesenih zahtjeva i modela objekta kreira prijedlog mreže, postavlja pristupne točke i vizualizira pokrivenost i performanse mreže. Nakon toga, ako je potrebno, stručno osposobljena osoba vrši potrebne konfiguracije i slijedi verifikacija plana.

3.1.3. Verifikacija izrađenog plana

Verifikacija izrađenog plana ima za cilj utvrditi preciznost napravljenog mrežnog dizajna prije same nabave i instaliranja cjelovite opreme. Provedbom verifikacije se provjerava da li je predviđeni broj pristupnih točaka i njihov položaj zaista odgovarajući. Također, pri verifikaciji se otkrivaju susjedne pristupne točke i interferirajući signali koji bi mogli utjecati na performanse mreže.

Verifikacija izrađenog plana se može obaviti primjenom više metoda. Najčešće se koristi metoda *AP-on-a-stick*. *AP-on-a-stick* je metoda verifikacije u kojoj se koristi pristupna točka pričvršćena na štap, uključuje se i smješta na neku od lokacija definiranih već u prediktivnom dizajnu. Zatim se obavlja mjerenje parametara mreže na lokaciji i utvrđuje pokrivenost, potom se pristupna točka premješta na sljedeću lokaciju utvrđenu u prediktivnom planu i proces se ponavlja dok se ne obuhvati cijelo prethodno definirano područje. Dobiveni rezultati se uspoređuju sa prediktivnim planom, provjerava poklapanje te se po potrebi vrše izmjene.

3.1.4. Instaliranje opreme i optimizacija

Idući korak bi bio instalacija opreme prema izrađenom planu i izvršenoj verifikaciji plana. Nakon izvršene fizičke instalacije potrebno je izvršiti verifikaciju postavljene opreme, ponovo se obavlja mjerenje mreže, ali sada sa svom instaliranom opremom nakon čega se analiziraju dobiveni rezultati. Provjerava se da li su zahtjevi kapaciteta, performansi i pokrivenosti zadovoljeni, a ako nisu obavljaju se manje preinake.

3.2. Alat za planiranje WLAN mreže – Ekahau Site Survey

Ekahau Site Survey je vizualni softverski alat koji se koristi za planiranje, verifikaciju i otklanjanje poteškoća u WLAN mrežama. Radi na *Microsoft Windows* i *macOS* platformama i podržava 802.11 a/b/g/n/ac bežične mreže. Razvila ga je privatna tvrtka *Ekahau* sa sjedištem u Virginiji, SAD [23].

EkaHau Site Survey osigurava da mreža zadovoljava zahtjeve mreže za visoke performanse i kapacitetom. Uključuje:

- Automatsko planiranje mreže: dizajniranje mreže u 3D-u na osnovu unesenih zahtjeva mreže i plana objekta.
- Provođenje pasivnih i aktivnih mjerenja: mjerenje performansi i pokrića mreže.
- Automatski izvještaji: generira opsežnu dokumentaciju, kao što su mape pokrića mreže, performanse mreže, karte objekta, konfiguracija mreže i ostale informacije.
- Mjerenje mreže pomoću GPS-a.

3.3. Glavni indikatori kvalitete WLAN mreže

3.3.1. Razina snage signala

Željena razina snage signala za optimalne performanse ovisi o mnogim faktorima, kao što su pozadinska buka okruženja, broj klijenata na mreži, brzina prijenosa podataka, korištene aplikacije. Na primjer VoIP zahtjeva bolju razinu snage signala od one koju zahtjeva pretraživanje weba [24]. Zahtijevane razine snage signala za pojedine aplikacije prikazane su u tablici 5.

Razina snage signala se najpreciznije prikazuje u miliwatima [mW], no zbog praktičnosti se koriste decibeli relativni miliwatima [dBm], koji se izražavaju u logaritamskoj skali. Odnos dviju mjernih jedinica prikazan je formulom 1, gdje P označava razinu snage signala.

$$P[dBm] = 10 \log_{10} \left(\frac{P [mW]}{1 \text{ mW}} \right) \quad (1)$$

RSSI (engl. *Received Signal Strength Indicator*) je indikator zaprimljene razine snage signala. RSSI pokazuje koliko dobro pojedini uređaj može čuti signal od neke pristupne točke. Vrijednost se očitava sa mrežne kartice pojedinog uređaja. Nema standardizirane mjerne jedinice za RSSI, različiti proizvođači koriste vlastite mjere [24].

Tablica 5 Zahtijevane razine snage signala za pojedine aplikacije.

Razina snage signala		Opis	Potrebno za
-30 dBm	Odlično	Najveća ostvariva razina snage signala. Korisnik mora biti jako blizu pristupne točke.	Nije primjenjivo
-67 dBm	Vrlo dobro	Minimalna razina snage signala za aplikacije koje zahtijevaju pouzdan prijenos i pravovremen prijenos.	VoIP, Live stream
-70 dBm	Dobro	Minimalna razina snage signala za pouzdan prijenos paketa.	E-pošta, web
-80 dBm	Loše	Minimalna razina snage signala za omogućavanje povezivanja na mrežu. Prijenos paketa je nepouzdan.	Povezivanje na mrežu
-90 dBm	Neupotrebljivo	Svaka funkcionalnost upitna.	Nije primjenjivo

Preuzeto od [24].

3.3.2. Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja je jedan od najbitnijih parametara WLAN mreže. Iskorištenost zračnog sučelja je vrijeme koje je potrebno klijentu za prijenos zračnim sučeljem. Iskorištenost će biti veća ako su brzine prijenosa manje, odnosno pojedinom klijentu će trebati više vremena za prijenos podataka. To je zbog toga što će klijenti, pogotovo oni koji su dalje od pristupne točke, slati upravljačke i kontrolne okvire manjom brzinom, što znači i veće vrijeme zauzeća pojedine pristupne točke [25].

Iskorištenost zračnog sučelja (A) računa se kao omjer zahtijevanog *bandwidtha* i brzine linka koja ovisi o nizu čimbenika, uključujući razinu signala i šuma, vrijednosti RSSI, korištenoj modulaciji i MIMO tehnikama (formula 2).

$$A[\%] = \frac{\text{zahtjevani bandwidth}}{\text{brzina linka}} \times 100 \quad (2)$$

Na iskorištenost zračnog sučelja utječe:

- Brzina prijenosa podataka
- Broj klijenata
- Vrste aplikacija
- Konfiguracija kanala

Uobičajene maksimalne vrijednosti su 70% za prijenos podataka, 60% za video i 50% za *voice* [26].

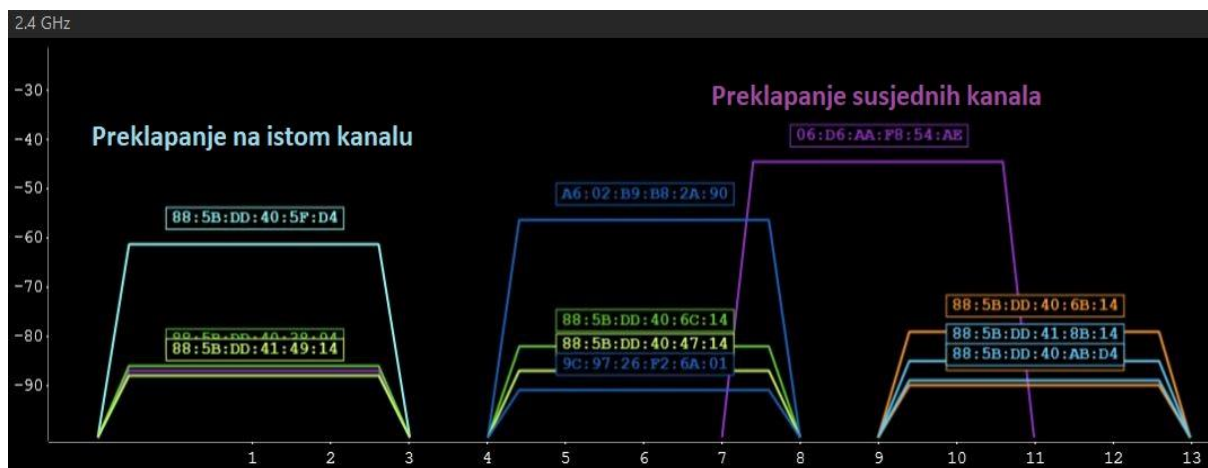
3.3.3. Preklapanje kanala

Kanali se mogu preklapati:

- Djelomično preklapanje susjednih kanala, gdje uređaji komuniciraju svi u isto vrijeme.
- Potpuno na istom kanalu (interferencija po istom kanalu), gdje uređaji komuniciraju po načelu *slušaj dok drugi govore*.

Preklapanje susjednih kanala je najgori oblik WLAN interferencije. Preklapanje susjednih kanala nastaje kada se koriste susjedni preklapajući kanali. Na primjer, 2.4 GHz pojas se sastoji od 14 kanala, širine 22 MHz sa 5 MHz razmaka, gdje se svaki idući preklapa u 75% pojasa prethodnog kanala te ako se koristi, na primjer, kanal 9 u području gdje se još koriste kanali 6 i 11 dolazi do preklapanja i nastajanja grešaka prijenosu (slika 13). U 5 GHz pojasu korištenjem kanala širine 20 MHz, djelomično preklapanje kanala ne postoji. Slanjem podataka preko susjednih preklapajućih kanala može uzrokovati oštećenje okvira i pojavu zahtjeva od strane uređaja za retransmisijom. Budući da WLAN koristi *half-duplex* način prijenosa, ovo predstavlja ogroman problem. Što je više retransmisija veće je vrijeme zauzeća vremenskog sučelja.

Interferencija po istom kanalu se javlja kada radio-odašiljači rabe isti kanal unutar nekog užeg područja (slika 13). U biti se tu ne javlja interferencija, jedan kanal u jednom trenutku može koristiti samo jedan uređaj. 802.11 standard koristi CCA mehanizam zbog kojeg pristupna točka osluškuje prije nego što započne komunikaciju, kako bi se osiguralo da samo jedan uređaj komunicira u bilo koje vrijeme, dok ostali moraju odgoditi komunikaciju. Preklapanje po istom kanalu nije značajan problem dok se ne pojavi više uređaja na jednom kanalu – za VoIP zahtjeve ne preporučuje se više od 3 preklapajuća kanala.

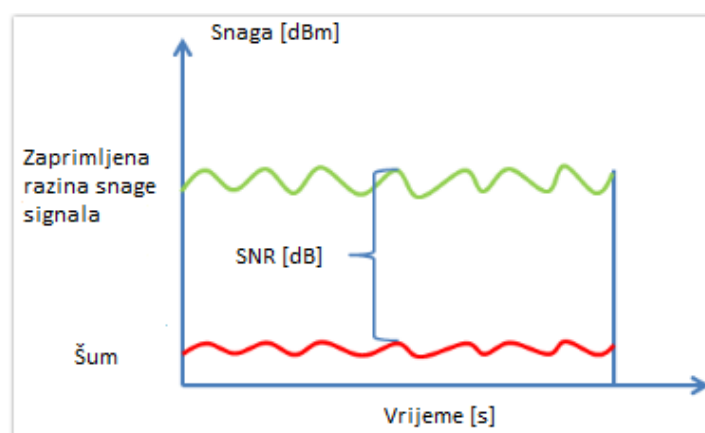


Slika 13 Prikaz preklapanja po istom kanalu i preklapanja sa susjednim kanalima.

3.3.4. Odnos signal – šum

Šum je spontana anomalija u radiokomunikacijskom sustavu, odnosno u kontekstu WLAN-a, šum je bilo koji signal koji WLAN uređaji ne mogu demodulirati te on kao takav otežava WLAN uređajima da se međusobno čuju. Pri tome može biti signal od bežičnih telefona, mikrovalne pećnice, video odašiljača, Bluetooth uređaja i slično [21].

Odnos signal – šum je veličina koja pokazuje u kakvom su odnosu razina snage signala i srednje snage šuma u nekom dijelu radiokomunikacijskog sustava (slika 14). Signal mora biti jači od šuma da bi prijenos podataka bio moguć [9]. Minimalni omjer signal – šum koji se nastoji postići za uporabu mreže za *voice* je 25 dB, dok je za brzi prijenos podataka minimalni omjer od oko 20 dB. Odnos signal šum je bezdimenzijska veličina, a često se izražava u logaritamskoj skali u decibelima [dB].



Slika 14 Odnos signala i šuma.

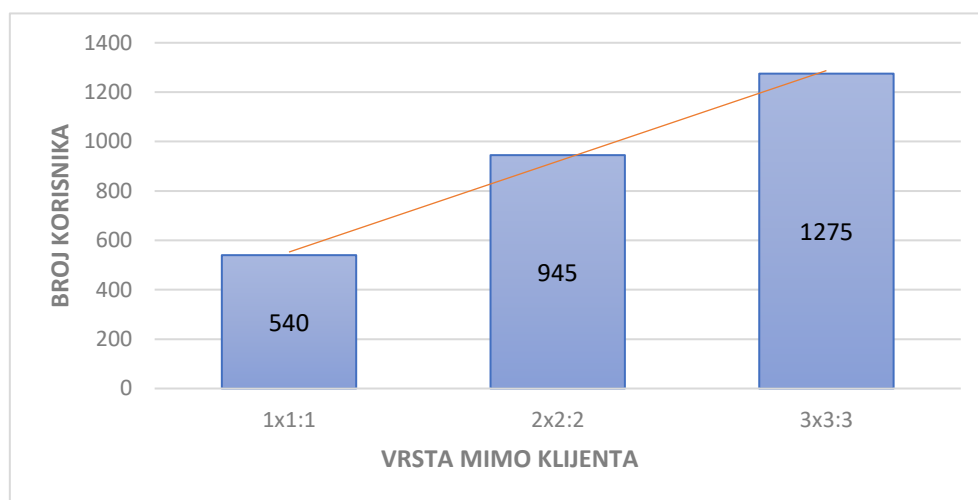
Preuzeto od [27].

3.3.5. Brzina prijenosa

Brzina prijenosa je brzina kojom komuniciraju dva uređaja. Što je brzina prijenosa veća, količina prenesenih podataka u nekoj jedinici vremena će biti veća. Ako je zadata veća minimalna brzina prijenosa vjerojatno će biti veći broj pristupnih točaka na određenim području. S druge strane, ako je minimalna brzina manja, dozvoljava se veća udaljenost od pristupne točke i manji broj pristupnih točaka je potreban. No, uporabom manje brzine prijenosa povećava se i iskorištenost zračnog sučelja.

Brzina prijenosa se izražava u bitima po sekundi [bit/s], no danas kada se koriste brže brzine prijenosa koriste se megabiti po sekundi [Mbit/s].

Brzina prijenosa ovisi o nizu faktora, poput broja i vrste klijenata spojenih na pristupnu točku, omjer signal – šum, preklapanju kanala i dr. Pod vrstom klijenata misli se na različite MIMO tehnike koje se koriste. Nije isto da li se koristi MIMO 1x1:1, 2x2:2 ili 3x3:3 jer ovisno o tome brzina varira, a samim tim i iskorištenost zračnog sučelja. U grafu 1 se prikazuje koliki utjecaj određena MIMO tehnika može imati na broj korisnika koje pristupna točka može posluživat, a da pri tome iskorištenost zračnog sučelja ne prijeđe 60%.

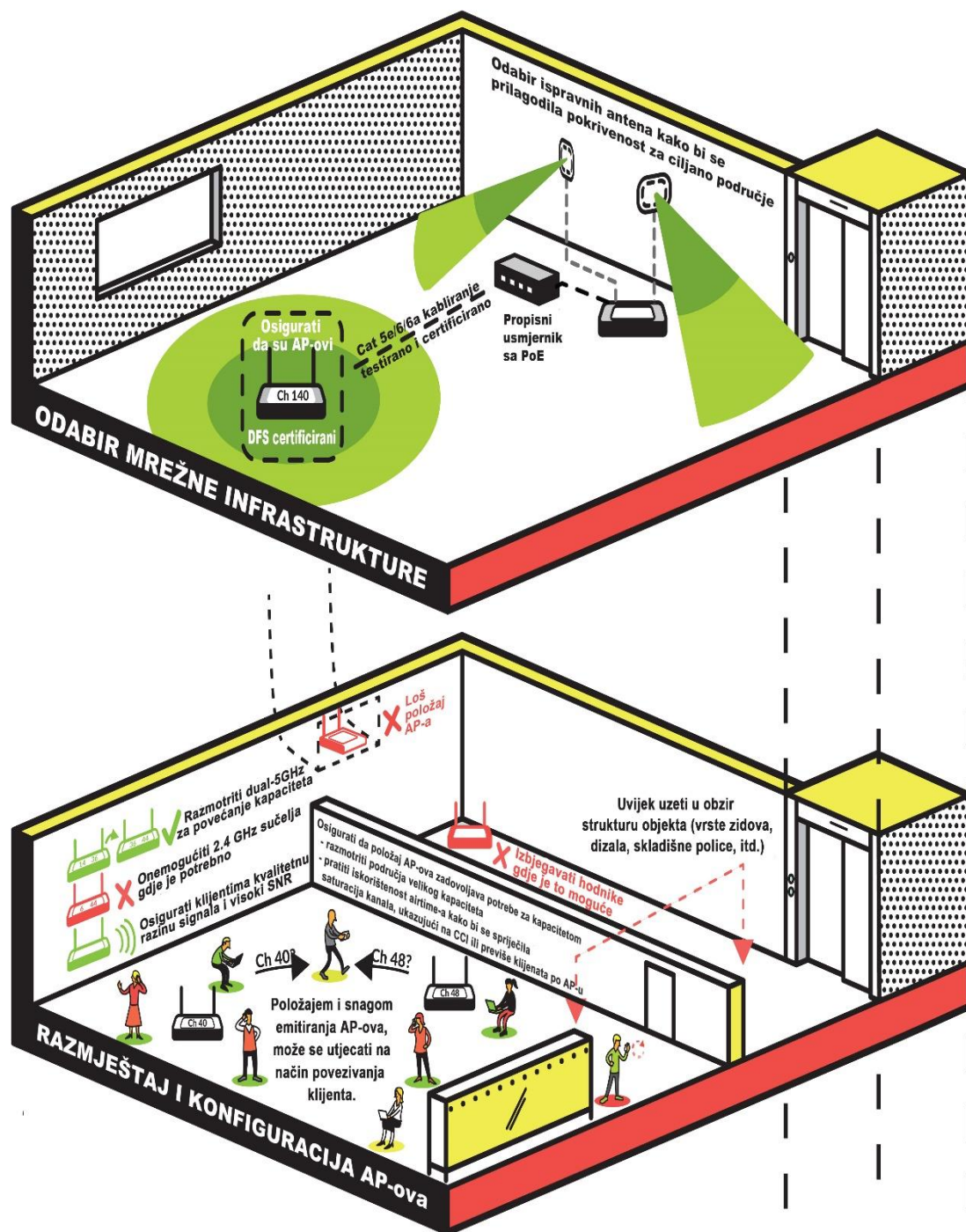


Graf 1 Utjecaj vrste klijenata na sam broj klijenata koje pristupna točka može posluživati, a da pri tome iskorištenost zračnog sučelja ne prelazi 60%.

3.4. Načini za poboljšavanje kvalitete prijenosa u WLAN mreži

Pri planiranju WLAN mreže sa visokim performansama i za velik broj klijenata važno je razumjeti sve parametre i njihovo ponašanje u različitim uvjetima. Posebnu pažnju tijekom planiranja potrebno je posvetiti za planiranje primarne pokrivenosti, korištenja odgovarajućih

pristupnih točaka i njihov razmještaj, planiranju ćelija, postavljanje odgovarajuće razine snage signala, minimalne brzine prijenosa i planiranju kanala (slika 15).



Slika 15 Ikonografika načina poboljšanja kvalitete mreže.

Preuzeto od [28].

3.4.1. Primarna i sekundarna pokrivenost

Prije procesa planiranja treba prvo utvrditi područja velike gustoće korisnika, zatim pri planiranju osigurati primarnu pokrivenost signala na takvim mjestima. Pri tome na takvim područjima poželjno je planirati uvijek za ukupni kapacitet. Ponašanje korisnika na takvoj mreži uvijek varira te je potrebno mrežu napraviti što robusnijom. S druge strane potrebno je planirati i sekundarnu pokrivenost kako bi se osigurala redundancija i bolji *roaming*.

Kada se planira primarna pokrivenost, cilj je osigurati željenu razinu snage signala i omjer signal – šum za svaki kvadratni metar područja.

Sekundarna pokrivenost predstavlja pokrivenost područja signalom od strane pristupne točke sa drugim najjačim emitiranim signalom. Kako bi se osigurala sekundarna pokrivenost pristupne točke trebaju biti gušće postavljene. Pri planiranju sekundarne pokrivenosti treba paziti na postavljanje previše pristupnih točaka i nepotrebnu preveliku pokrivenost. Sekundarna pokrivenost se obično koristi pri planiranju pokrivenosti za 5 GHz pojas, u 2.4 GHz pojasu se ne koristi zbog toga što bi došlo do preklapanja istih kanala. Pri planiranju sekundarne pokrivenosti teži se da razina snage signala bude na -70 dB, no i to ovisi o planiranim troškovima, budući da vjerojatnost kvara na hardveru pristupne točke iznosi od 0.25% do 1% [29].

3.4.2. Uporaba odgovarajućih pristupnih točaka

Korištenjem *dual band* pristupnih točaka i puštanjem u rad oba odašiljača moguće je ostvariti maksimalnu propusnost. *Dual band* pristupne točke omogućavaju odašiljanje i prijem na dva odvojena frekvencijska pojasa. Preporučuje se korištenje 5 GHz frekvencijskog pojasa na oba odašiljača gdje god je moguće zbog povećanja kapaciteta.

Pri izboru pristupne točke potrebno je paziti da su odabrane pristupne točke DFS certificirane. DFS je mehanizam koji omogućuje nelicenciranim uređajima, posebno onima koji rade na otvorenom području, da koriste 5 GHz pojas koji koriste radari, a da pri tome ne stvaraju interferenciju tim radarima.

Nakon izbora odgovarajuće pristupne točke potrebno je odabrati odgovarajuće tipove antena kako bi se prilagodila pokrivenost za određeno područje.²

² Različite vrste antena i njihove primjene opisane su u poglavlju Arhitektura 802.11 mreže.

3.4.3. Postavljanje razine snage signala odašiljača

Brzina prijenosa je funkcija primljene razine snage signala i omjera signal – šum na prijemu, dakle brzina prijenosa ne ovisi samo o odašiljaču nego i o uvjetima prijenosnog medija. Svaki korisnik neće dobiti istu brzinu prijenosa od istog radio odašiljača, ona ovisi o varijablama kao što su osjetljivost antene, konfiguracija antene, verzija *drivera*, položaj unutar ćelije pa i materijalne prepreke koji se nalaze unutar ćelije. Što je bolja razina snage signala i omjera signal – šum, brži je prijenos podataka.

Međutim, postavljanje veće razine snage signala uzrokuje interferenciju zbog čega će u zagušenoj mreži ako jedna pristupna točka čuje drugu oni dijeliti zračno sučelje što uzrokuje povećanje iskorištenosti zračnog sučelja. Također, mnogi uređaji ostaju povezani na prvu odabranu pristupnu točku iako u blizini postoje i pristupne točke sa boljom razinom snage signala, tek nakon što veza pukne povezat će se na drugu pristupnu točku. Smanjenjem razine snage signala veza će puknuti ranije i omogućiti da se uređaji povezuju na pristupne točke s boljom razinom snage signala te se tako omogućuje bolji *roaming* [30].

U 2.4 GHz pojasu se obično koristi manja razina snage signala u odnosu na 5 GHz pojas, prvenstveno zbog toga što 2.4 GHz pojas bolje propagira kroz razne materijale. Pored toga, na 2.4 GHz će se postaviti manja razina snage signala kako bi uređaji odabrali 5 GHz pojas.

3.4.4. Postavljanje minimalne brzine prijenosa

Konfiguriranje minimalne brzine prijenosa podataka može znatno utjecati na performanse WLAN mreže, uključujući smanjenje upravljačkih okvira, uklanjanje nepotrebnih RTS/CTS okvira, bolju iskorištenost zračnog sučelja i poboljšanu propusnost u ESS-u, posebno u mrežama velikog kapaciteta [31]. Minimalna brzina prijenosa podataka je vrijednost prijenosa podataka koju ako uređaji ne zadovoljavaju ne mogu ostati povezani na mrežu.

Različiti 802.11 standardi imaju različite minimalne brzine prijenosa koje rastu sa novijim generacijama (tablica 6). Svaki standard mora biti kompatibilan sa prošlim, zbog toga će radio odašiljači koji podržavaju novije standarde u komunikaciji sa radio odašiljačima koji podržava neki od standarda koji prethode tomu morati koristiti minimalnu brzinu starijeg standarda.

Svaki 802.11 okvir koristi isti format, neovisno o standardu. Komunikacija počinje preambulom, nakon koje slijedi PLCP zaglavlje koje, između ostalog, obavještava koju brzinu prijenosa okvira će biti korištena. No, preambula i PLCP zaglavlje će biti poslani najmanjom brzinom prijenosa podataka pojedinog standarda, bez obzira na zadatu minimalnu brzinu u signal podpolju. Neposredno nakon slanja PLCP zaglavlja šalje se MAC protokol jedinica podataka (MPDU), koja se šalje brzinom zadatom u PLCP zaglavlju [31].

Tablica 6 802.11 standardi i njihove modulacijske sheme te pripadajuće brzine prijenosa.

Specifikacija fizičkog sloja	802.11 standard	Frekvencijski pojas	Podržane brzine prijenosa [Mbit/s]
DSSS	802.11(osnovni)	2.4 GHz	1, 2
High Rate DSSS	802.11b	2.4 GHz	1, 2, 5.5, 11
Extended Rate Physical OFDM	802.11g	2.4 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
OFDM	802.11a	5 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
High Throughput OFDM	802.11n	2.4 GHz / 5 GHz	6.5 do 600
Very High Throughput OFDM	802.11ac	5 GHz	6 do 6933.3

Preuzeto od [31].

Dakle, konfiguriranjem minimalne brzine prijenosa, mijenja se samo brzina kojom se šalju MPDU. Povećanje minimalne brzine okvira može imati dobar utjecaj na performanse mreže tako što ograničava iskorištenje zračnog sučelja od strane upravljačkih okvira, jednog od tipova MAC okvira, što ostavlja više prostora za iskorištenje zračnog sučelja od strane samih podataka [31].

Ograničavanje minimalne brzine slanja preambule i PLCP zaglavlja se može postići samo konfiguriranjem pristupne točke da ne podržava nikakvu kompatibilnost sa starijim standardima. Najbolje će rezultate dati omogućavanje samo OFDM načina kodiranja. Na taj način će se prisiliti da preambule i PLCP zaglavlja svih upravljačkih i podatkovnih okvira koriste samo OFDM format i onemogućiti sporijim 802.11/802.11b korisnicima pristup mreži [31].

Minimalnu brzinu prijenosa podataka obično je poželjno postaviti na 12 Mbit/s ili 24 Mbit/s. Iako se 24 Mbit/s nekada smatra prevelikom zbog više razloga: korištenjem prevelike minimalne brzine uzrokuje smanjenje područje iskoristivog pokrivanja jedne pristupne točke dok prostor na kojem dolazi do sukoba PLCP zaglavlja pristupnih točaka ostaje isti, zatim upravljačke okvira postaje teže dekodirati na nekim područjima zbog čega korisnici mogu ispustiti vezu te na kraju može uzrokovat veći broj izgubljenih okvira [31].

3.4.5. Planiranje kanala

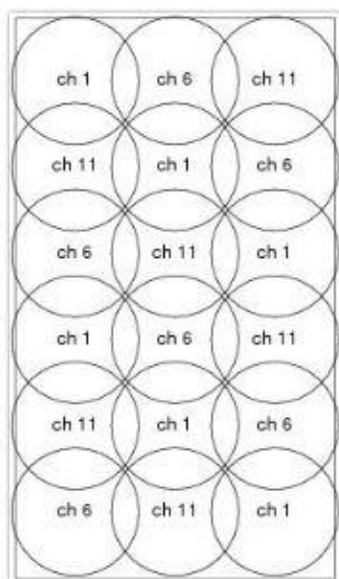
2.4 GHz pojas kanala posjeduje tri kanala koja se međusobno ne preklapaju, pri tome se obično koriste kanali 1, 6 i 11 (u nekim krajevima svijeta se koriste 1, 5, 9 i 13). Obično se formiraju manje ćelije sa manjom razinom snage odašiljanja signala, kako ne bi došlo do curenja signala jedne pristupne točke u ćeliju druge sa istim kanalom, pristupne točke koje koriste iste kanale smjestiti će se što je dalje moguće. No bolja je i interferencija po istom kanalu nego interferencija susjednih kanala. Proširenje kanala na 40 MHz u 2.4 GHz pojasu je

moguće, ali tada je moguće implementirati samo jedan takav kanal. Budući da ima samo tri nepreklapajuća kanala 2.4 GHz je često vrlo opterećen, prvenstveno u stambenim i poslovnim zgradama što automatski isključuje učinkovitu uporabu kanala širine 40 MHz. Za uporabu u okruženju gdje postoji samo jedna pristupna točka moguće je ostvariti značajna poboljšanja.

Pri planiranju 5 GHz pojasa potrebno je prvo napraviti listu kanala koji će se koristiti. Pri tome treba uzeti u obzir koje kanale podržavaju korisnički uređaji. Dosta starijih uređaja ne podržava DFS kanale te ako je takav slučaj na području planiranja, trebalo bi ih izbjegavati. Spajanje kanala je u 5 GHz pojasu također omogućeno. Što je veći kanal, veća je propusnost, no i manji je broj raspoloživih kanala. Korištenje kanala širine 80 i 160 MHz je potrebno izbjegavati u jako napučenim područjima, obično se preporučuje tada širina od 20 MHz ili ako je moguće 40 MHz. Pri postavljanju kanala, potrebno je izbjegavati postavljanje susjednih kanala jednih pored drugih, kanali inače u 5 GHz ne preklapaju, ali pri odašiljanju velikom snagom može se javiti interferencija po susjednim kanalima.

3.4.6. Planiranje ćelija

Pristupne točke se postavljaju tako da pri prijelazu iz jedne u drugu ćeliju ne dolazi do prekida veze i da korisnik ima minimalan gubitak paketa. Posljedično tomu, korisnikov uređaj treba biti u mogućnosti da čuje dvije do tri pristupne točke, odnosno da se ćelija preklapa sa još dvije ćelije na različitim kanalima (slika 16) . Na ovaj način osiguravamo bolji *roaming*, *roaming* sa malim kašnjenjima u stvarnovremenim aplikacijama te redundantnost na kvarove.



Slika 16 Primjer pravilno konfiguriranih ćelija u prostoru.

Preuzeto od [32].

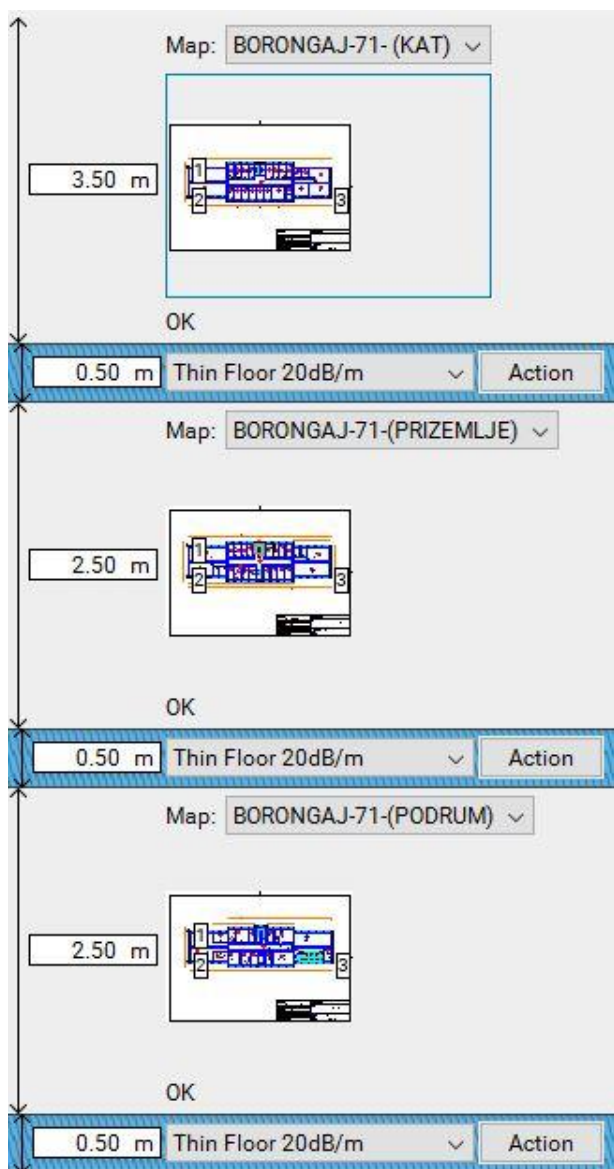
4. Opis trenutnog stanja WLAN mreže Objekta 71

Objekt 71 je jedan od objekata koje koristi Fakultet prometnih znanosti. Objekt 71 pripada staroj gradnji te su se tokom godina mnogo puta vršile izmjene, pri čemu je preuređen iz vojarne u zgradu fakulteta (slika 17). Bitno je naglasiti da je zbog nemogućnosti pristupa i mjerenja trenutnog stanja mreže po profesorskim uredima bežična mreža planirana samo za dijelove i prostorije objekta koje koriste studenti.



Slika 17 Objekt 71.

Objekt ima površine oko 1000 m² i čine ga podrum, prizemlje i jedan kat. Vanjski zidovi objekta su dosta debeli i načinjeni od pečene opeke. Visina stropova se razlikuje od etaže – u podrumu i prizemlju je 2.50 m, dok na katu ima visinu od 3.50 m. Etažne ploče spadaju u kategoriju tanjih te je u *Ekahau Site Survey* uzet najgori mogući scenarij sa podovima koji imaju najmanje prigušenje, odnosno prigušenje od 20 dB (slika 18). Unutrašnju strukturu čine noseći zidovi od pečene opeke, dok su pregrade ureda načinjene od gipsane ploče. Razine prigušenja snage signala pojedinih materijala prikazane su u tablici 7.



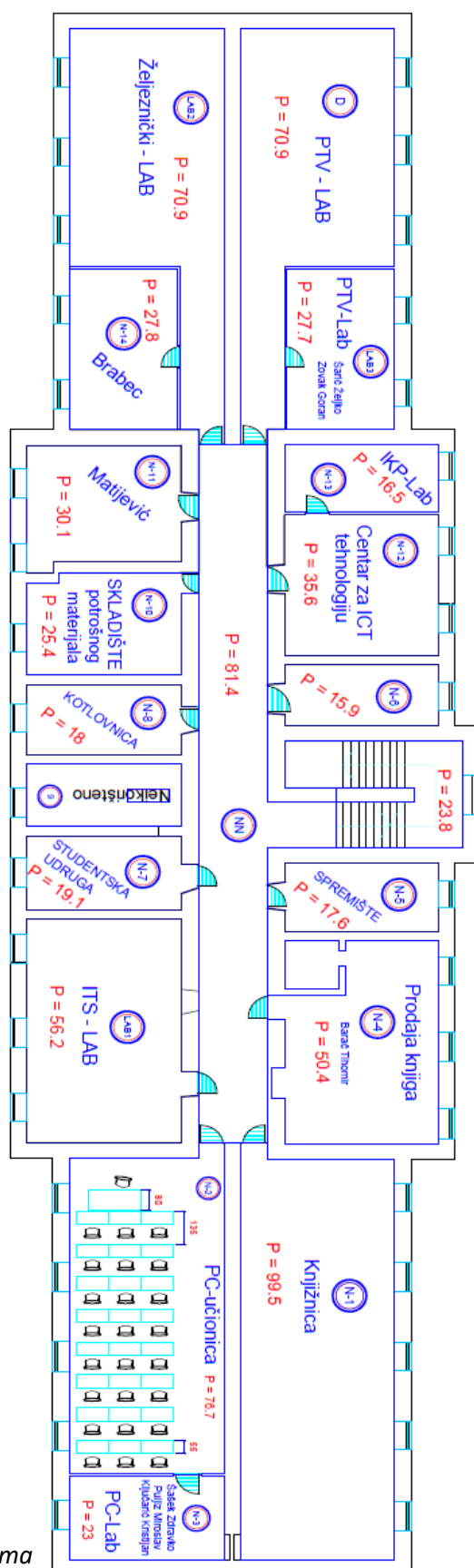
Slika 18 Karakteristike pojedinih etaža objekta 71.

Tablica 7 Prigušenje snage signala za pojedine materijale.

Vrsta materijala	Prigušenje [dB]
Beton za etažne ploče	20
Pečena cigla	10
Gipsana ploča	3
Drvo za vrata	4
Staklo	3

4.1. Prikaz tlocrta podruma

Podrum (slika 19) čini hodnik površine 81.40 m² na čijim su stranama razne prostorije kojim studenti nemaju pristupa ili laboratoriji koji posjeduju svoju vlastitu mrežu i zbog toga nisu obuhvaćeni ovim planom. Na krajevima hodnika se nalaze po dvije veće prostorije. Na jednoj strani to su 2 laboratorija sa površinama po 97.7 m². U ove dvije navedene prostorije se ne očekuje mnogo korisnika, do 20 njih. Na drugoj strani nalazi se knjižnica površine 99.5 m² u kojoj se očekuje do 20 korisnika. Uz knjižnicu se nalazi i PC – učionica površine 76.7 m² i kapaciteta 26 korisnika. Na kraju PC – učionice nalazi se manji laboratorij površine 23 m² i sa tri očekivana korisnika.

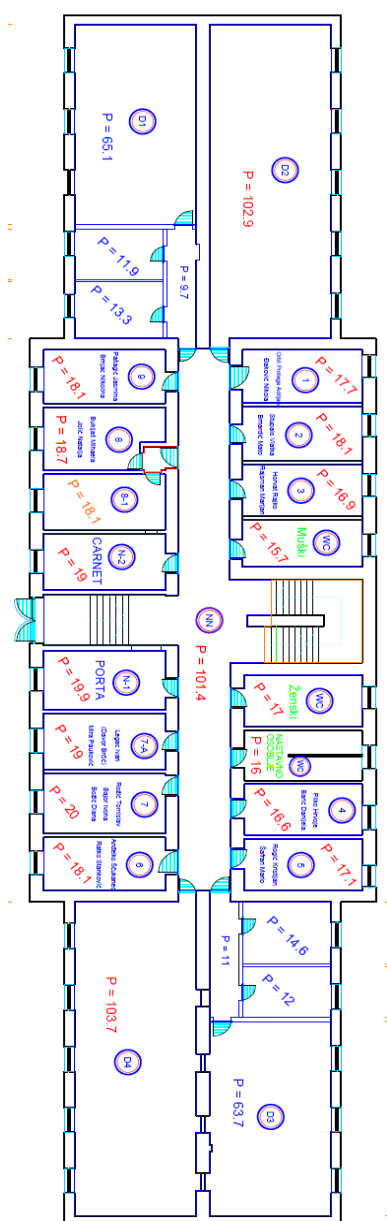


Slika 19 Prikaz tlocrta podruma objekta 71.

Preuzeto od [33].

4.2. Prikaz tlocrta prizemlja

U prizemlju (slika 20) se nalaze četiri dvorane u kojima se održavaju predavanja – D1, D2, D3, D4. Dvorana 1 je površine 65.1 m² i sa kapacitetom od 55 sjedećih mjesta. Dvorana 2 je veća dvorana, ima površinu 102.9 m² i kapacitet od 97 sjedećih mjesta. S druge strane objekta imamo dvoranu 3 koja ima karakteristike dvorane 1 te dvoranu 4 koja ima karakteristike dvorane 2. Između se nalazi hodnik površine 101.4 m² u kojem postoje predviđena sjedeća mjesta za čekanje. U hodniku će korisnici većinom biti samo u prolazu. Uz hodnik se nalaze brojni uredi pregrađeni gipsanim pločama, no zbog nemogućnosti pristupa zbog mjerenja stanja mreže, nisu uzeti ni u samom planu.

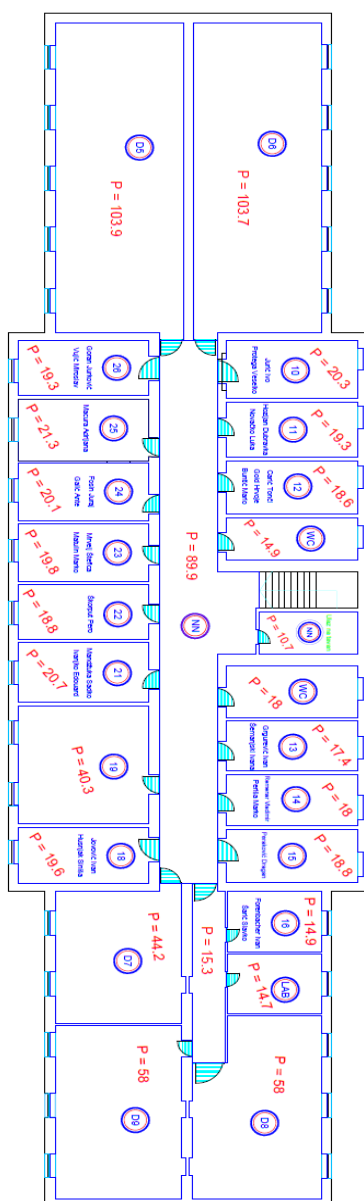


Slika 20 Prikaz tlocrta prizemlja objekta 71.

Preuzeto od [33].

4.3. Prikaz tlocrta kata

Kat (slika 21) ima sličan raspored kao i prizemlje. Na jednoj strani posjeduje dvije dvorane – D5 i D6, jednakog kapaciteta od 97 sjedećih mjesta, površina dvorane 5 je 103.9 m² a površina dvorane 6 je 103.7 m². Zatim, na drugoj strani imamo tri PC – dvorane. Prva, dvorana 7, je površine 44.2 m² te kapaciteta 19 sjedećih mjesta. Dvorana 8 ima površinu od 58 m² i kapacitet od 24 sjedeća mjesta. Dvorana 9 ima također površinu 58 m² i kapacitet od 21 sjedeće mjesto. U sredini se nalazi hodnik površine 89.9 m² sa nekoliko sjedećih mjesta predviđenih za čekanje te sa strane uredi međusobno odijeljeni gipsanim pločama, koji također nisu obuhvaćeni ovim radom zbog nemogućnosti pristupa.



Slika 21 Prikaz tlocrta kata objekta 71.

Preuzeto od [33].

4.4. Opis karakteristika korisnika

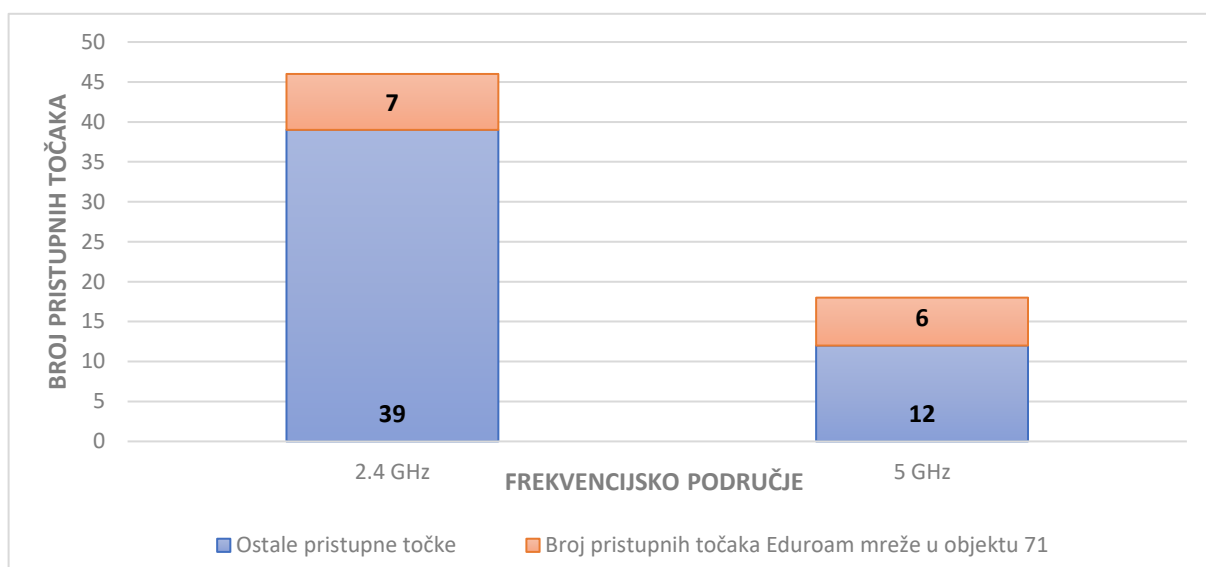
Fakultet je mjesto gdje studenti stječu nova znanja, a mreža mora omogućiti podršku u stjecanju tih znanja. Zbog toga je mreža na fakultetu postala neophodna. Sve je više profesora koji koriste multimedijски sadržaj u sklopu predavanja, objavljuju materijale za studente, rezultate testova, obavijesti i slično. S druge strane studenti koriste mrežu za pristup studentskim aplikacijama kako bi dobili uviđaj u testove, materijale za predavanja i drugo.

Mreža na fakultetu predstavlja veliki izazov prvenstveno zbog samog kapaciteta. Fakultet posjeduje više dvorana sa velikom gustoćom korisnika na jednom mjestu kojima mora biti omogućen pristup mreži i koji će je koristiti u različite svrhe. Osim kapaciteta, mreža mora omogućiti velikom broju korisnika i veliku propusnost, studentima mora biti omogućeno pregledavanje videa visoke kvalitete.

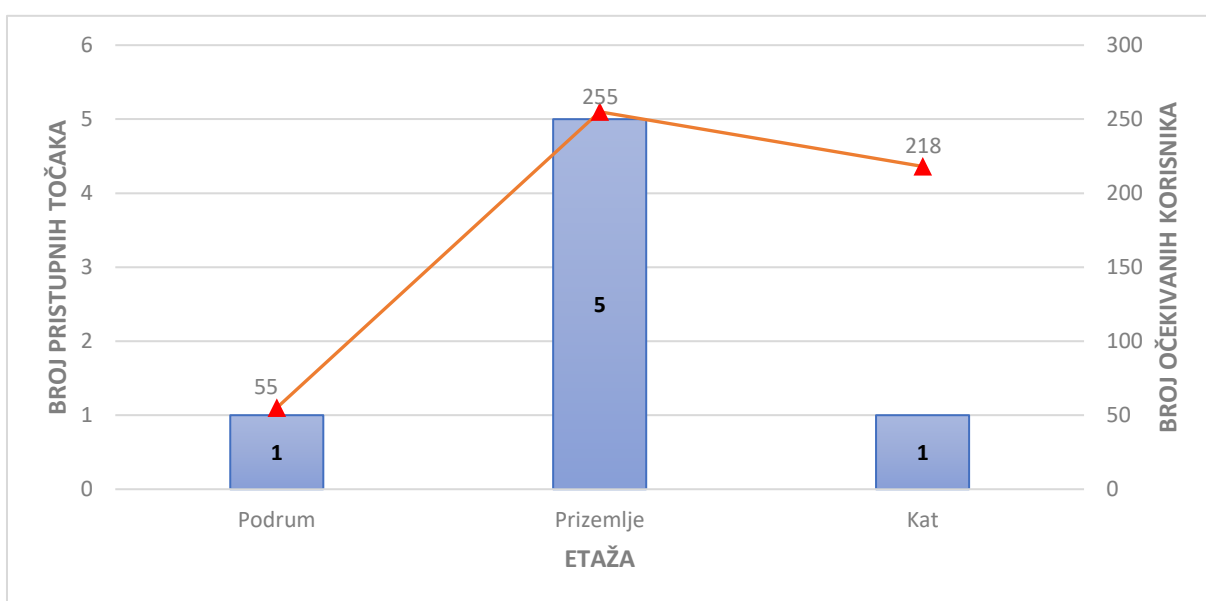
Objekt 71 ima dvorane kapaciteta od 54 do 96 korisnika te PC – učionice kapaciteta od 18 do 25 korisnika, koje uobičajeno nisu popunjene do kraja pa je zbog toga pri mjerenju uzet kapacitet od oko 80% maksimalnog kapaciteta dvorane. Korisnici obično koriste samo jedan uređaj – pametni telefon. Izuzetak bi bio u prostorijama knjižnice gdje nerijetko studenti koriste i svoja prijenosna računala uz pametne telefone. Terminalni uređaji se obično koriste za pretraživanje po webu, prijenosa podataka, ali nije rijetko da se koriste za gledanje edukacijskog sadržaja na platformama kao što je *youtube.com* ili za sudjelovanje u nekim *webinarima*.

4.5. Opis zatečenog stanja WLAN mreže

Objekt 71 se nalazi na Sveučilišnom kampusu te kao takav okružen je mnogim drugim zgradama fakulteta. Kao posljedica toga postoji jako velik broj pristupnih točaka koje utječu na mrežu objekta 71 (graf 2). Sam objekt 71 posjeduje sedam pristupnih točaka raspoređenih na 3 etaže zgrade (graf 3), što je premali broj za očekivani broj korisnika. Na katu je slučaj da samo jedna pristupna točka pokriva cijelo područje na kojemu se očekuje 218 korisnika.



Graf 2 Prikaz pristupnih točaka od Eduroama u objektu 71 u odnosu na ukupan broj pristupnih točaka u okolini.



Graf 3 Prikaz odnosa broja korisnika i pristupnih točaka po katovima.

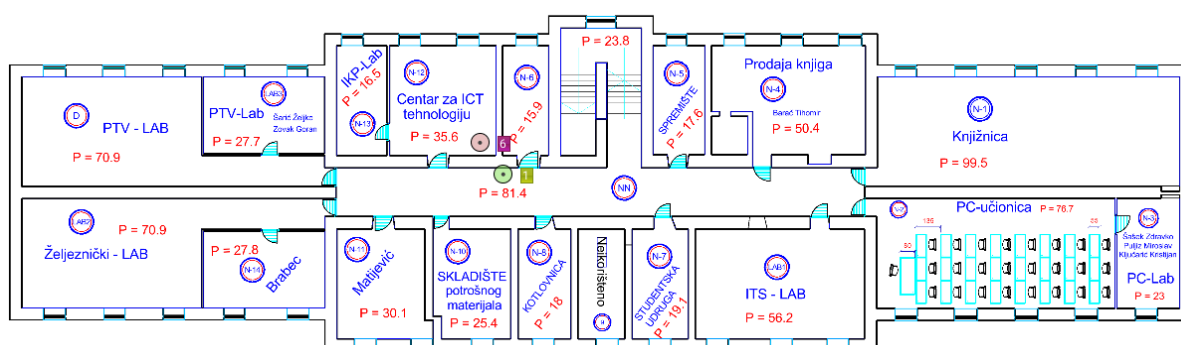
Objekt 71 koristi pristupne točke proizvođača Cisco Systems, Inc., odnosno model Aironet 1130AG (slika 22). Korištene pristupne točke se ne proizvode više, a cijena za novu, u trenutku pisanja ovog rada, na *amazon.com* je 467.00\$. Pristupne točke su *dual band*, odnosno omogućuju rad na dva frekventijska pojasa istovremeno, podržava standarde IEEE 802.11a/b/g i omogućuje propusnost do 108 Mbit/s [34]. Za 2.4 GHz pojas je korišten 802.11g, a za 5 GHz 802.11a standard.



Slika 22 Pristupna točka korištena u postojećoj mreži Objekta 71 - Cisco Aironet 1130AG.

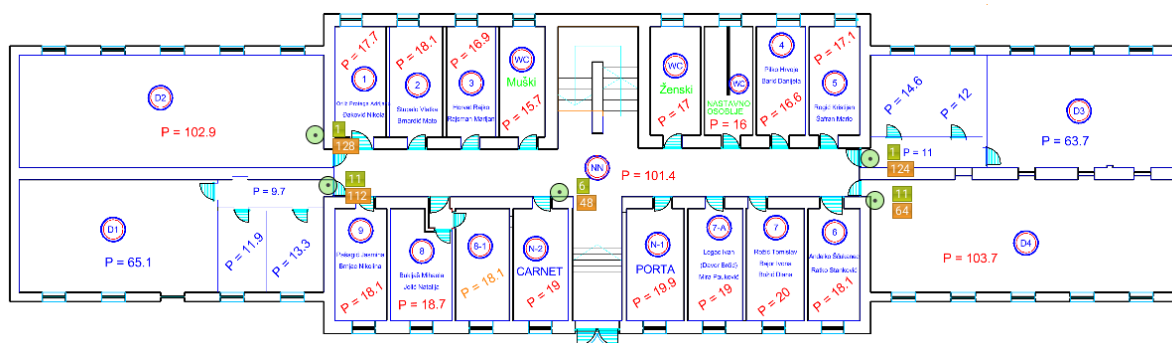
Preuzeto od [34].

Podrum posjeduje jednu pristupnu točku koja se nalazi na sredini hodnika (slika 23). Pristupna točka radi na kanalu 1 u 2.4 GHz frekvencijskom pojasu. Također u podrumu jedan laboratorij posjeduje svoju pristupnu točku koja nije dio mreže fakulteta i koja radi na kanalu 6 u 2.4 GHz pojasu.

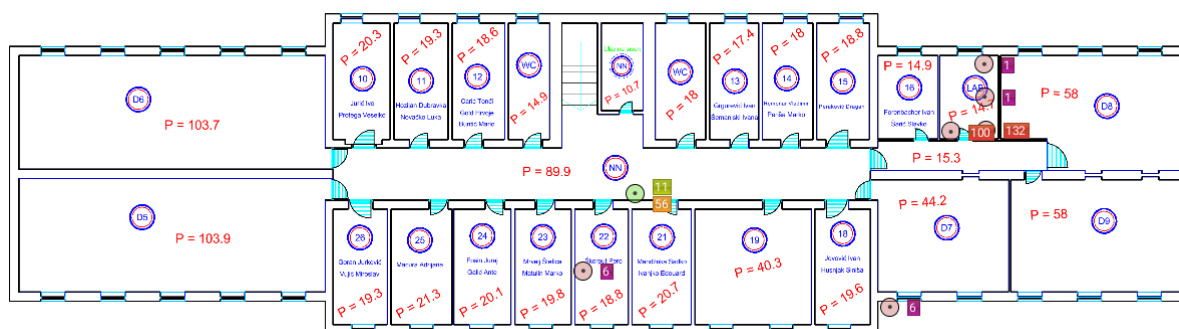


Slika 23 Prikaz položaja pristupnih točaka u podrumu i pripadajućih kanala. Zelenom bojom je prikazana pristupna točka Eduroam mreže.

U prizemlju se nalazi pet pristupnih točaka koje sve rade u *dual band* načinu, odnosno u 2.4 i 5 GHz pojasu (slika 24). U dvoranama D1 i D2 se nalazi po jedna pristupna točka, za 2.4 GHz su korišteni kanali 1 i 11, dok su u 5 GHz pojasu korišteni kanali 112 i 128. U hodniku se nalazi jedna pristupna točka koja radi kanalu 6 u 2.4 GHz pojasu i kanalu 48 u 5 GHz pojasu. Zatim se u prizemlju nalaze još dvije pristupne točke, jedna na početku manjeg hodnika prema dvorani D3 koja radi u 2.4 GHz pojasu na kanalu 1 i na kanalu 124 u 5 GHz pojasu, potom druga pristupna točka koja se nalazi u dvorani 4 i radi na kanalu 11 u 2.4 GHz pojasu i na kanalu 64 u 5 GHz pojasu.



Na katu se nalazi samo jedna pristupna točka *Eduroam* mreže, smještena na sredini hodnika (slika 25). Na katu se također nalaze mnoge pristupne točke koje pripadaju pojedinim profesorima i laboratorijima, odnosno postoji pet takvih, pri čemu dvije rade u *dual band* načinu. Dvije pristupne točke koje odašilju u *dual band*, u 2.4 GHz pojasu odašilju obje na kanalu 1, dok u 5 GHz pojasu koriste kanale 100 i 132. Ostale pristupne točke odašilju obje samo u 2.5 GHz pojasu i sve koriste kanal 6.

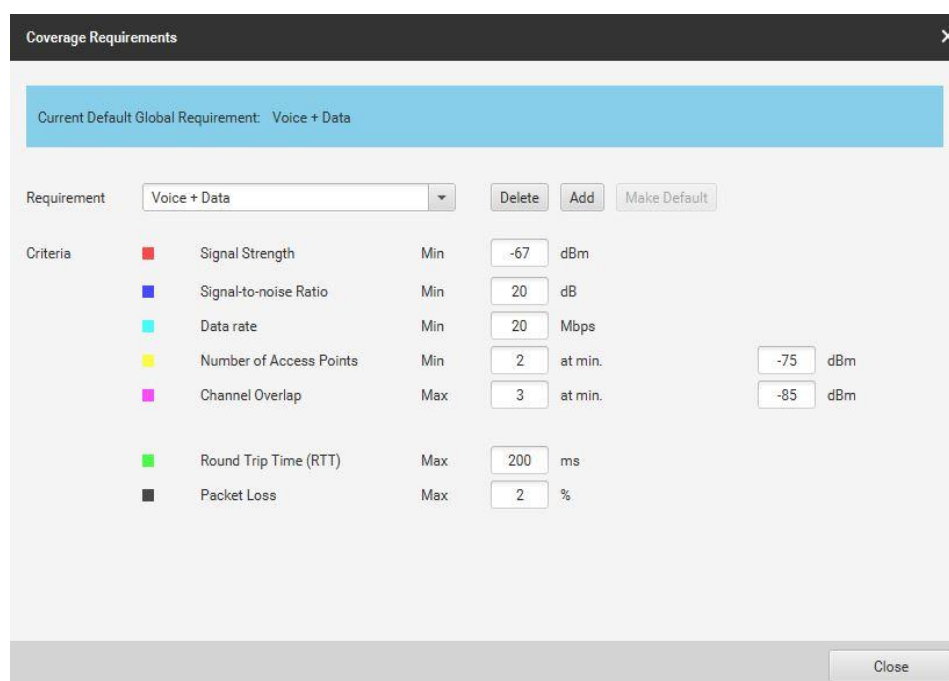


5. Provedba validacijske analize kvalitete WLAN mreže Objekta 71

Validacijska analiza kvalitete postojeće WLAN mreže obavljena je pasivnim mjerenjem uporabom softverskog alata *EkaHau Site Survey*, korištenjem metode *Stop-and-Go*. Pasivni način mjerenja je način skupljanja podataka u kojem se koristi samo osluškivanje, uređaj se ni u jednom trenutku ne povezuje na pristupnu točku. Ovakva mjerenja se koriste kada se žele uzeti u obzir i neki strani uređaji i njihov utjecaj na mrežu. Pasivnim mjerenjem dobivamo informacije o parametrima mreže kao što su:

- Razina snage signala
- Iskorištenost zračnog sučelja
- Identificiranje radiovalova
- Otkrivanje radiovalnih zona sa problemima
- Odnos signal – šum
- Propusnost

Prije samog mjerenja u alatu su zadane granične vrijednosti parametara koje bi mreža trebala zadovoljiti. Za zahtjeve kvalitete su izabrani oni koji ispunjavaju zahtjeve za *voice* i prijenos podataka (slika 26).



Criteria	Requirement	Min	Max	Unit
Signal Strength	Min	-67		dBm
Signal-to-noise Ratio	Min	20		dB
Data rate	Min	20		Mbps
Number of Access Points	Min	2		at min.
Channel Overlap	Max	3		at min.
Round Trip Time (RTT)	Max	200		ms
Packet Loss	Max	2		%

Slika 26 Prikaz zadanih vrijednosti parametara.

Za zahtjeve kapaciteta uneseno je 80% ukupnog kapaciteta dvorana te neki manji broj korisnika po hodnicima. Korisnici koriste po jedan terminalni uređaj sa zahtjevom za propusnost od 2 Mbit/s.

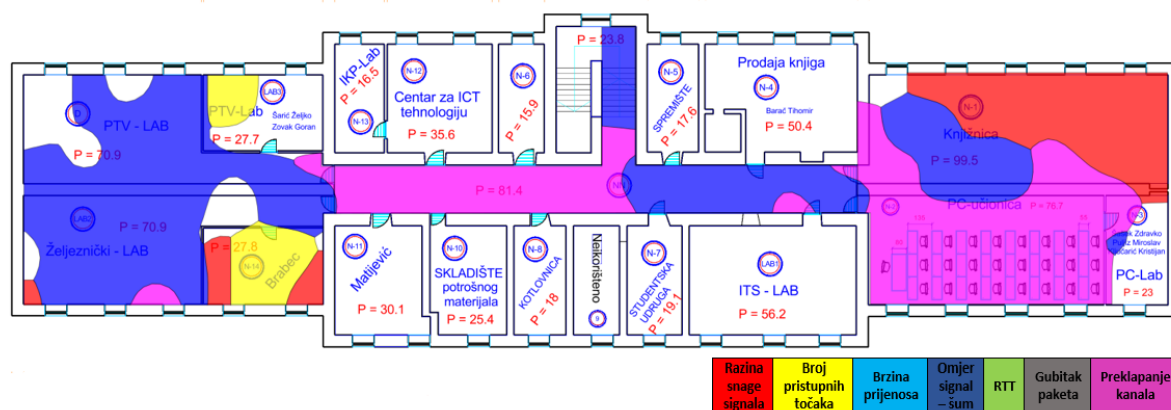
5.1. Rezultati analize

5.1.1. Analiza kvalitete mreže u podrumu

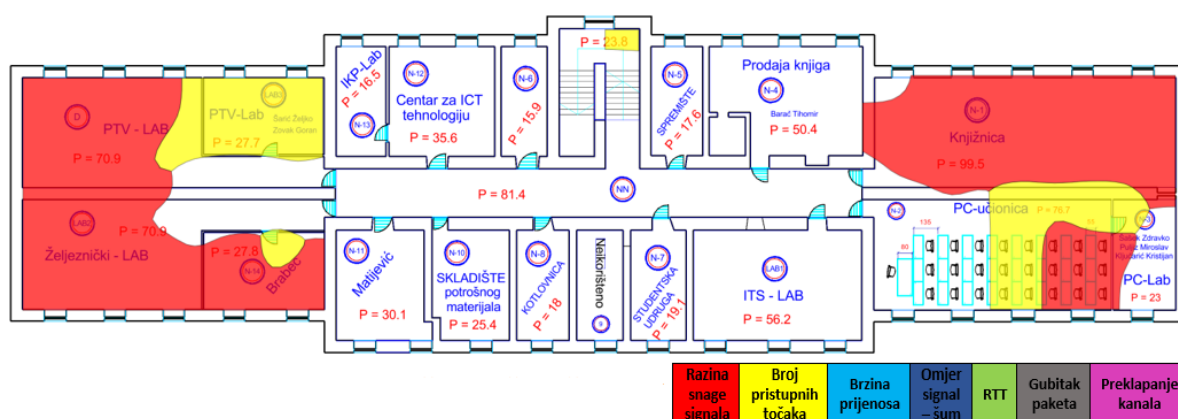
Problemi sa mrežom

Na slici 27 moguće je vidjeti problematična područja u 2.4 GHz pojasu u podrumu objekta 71. Preklapanje kanala i omjer signal – šum najrašireniji su problemi sa mrežom u podrumu, te na manjem području vidljiva je nedostatna razina snage signala.

U podrumu 5 GHz pojas nije emitiran, ali se signal ponegdje javlja zahvaljujući pristupnim točkama koje se nalaze u prizemlju, a koje emitiraju 5 GHz pojas (slika 28).



Slika 27 Problemi sa mrežom u podrumu u 2.4 GHz pojasu.

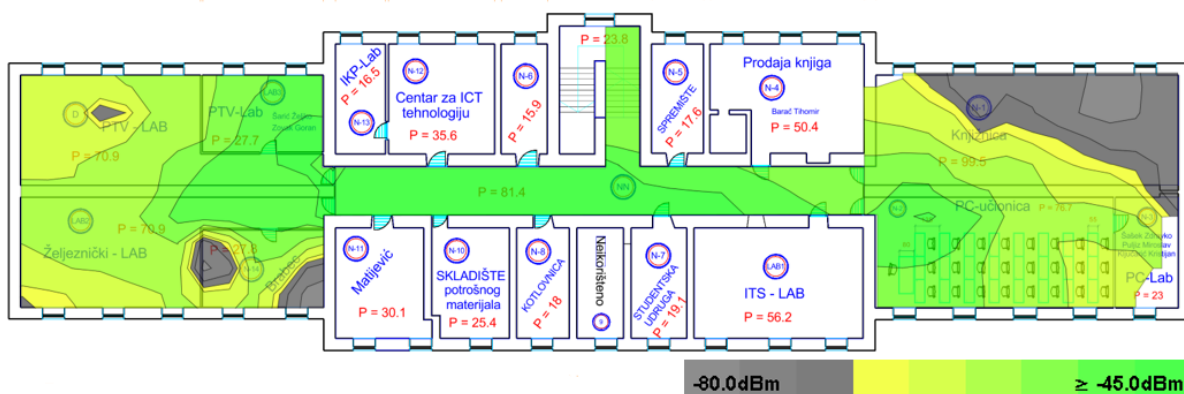


Slika 28 Problemi sa mrežom u podrumu u 5 GHz pojasu.

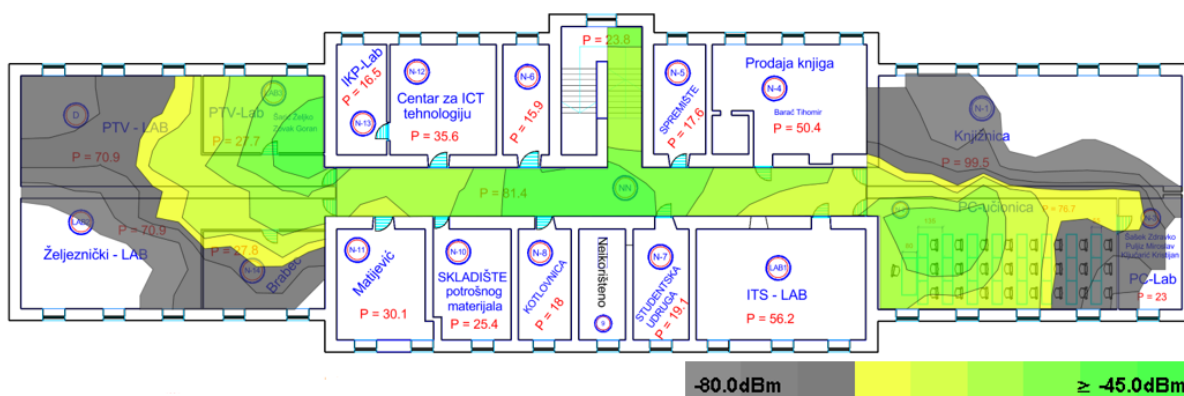
Razina snage signala

Pokrivenost 2.4 GHz signalom u podrumu lošija je na krajevima objekta, gdje razina snage signala pada ispod -70 dB (slika 29), što je očekivano, budući da u podrumu postoji samo jedna pristupna točka koja se nalazi u sredini hodnika. Najproblematičnije područje je knjižnica, polovica površine prostorije nije pokrivena zadovoljavajućom razinom snage signala.

Kao posljedica nedostatka emitiranja signala u 5 GHz pojasu, pokrivenost 5 GHz signalom je jako loša i postoji samo na određenim dijelovima, na dijelovima iznad kojih se u prizemlju nalaze pristupne točke (slika 30).



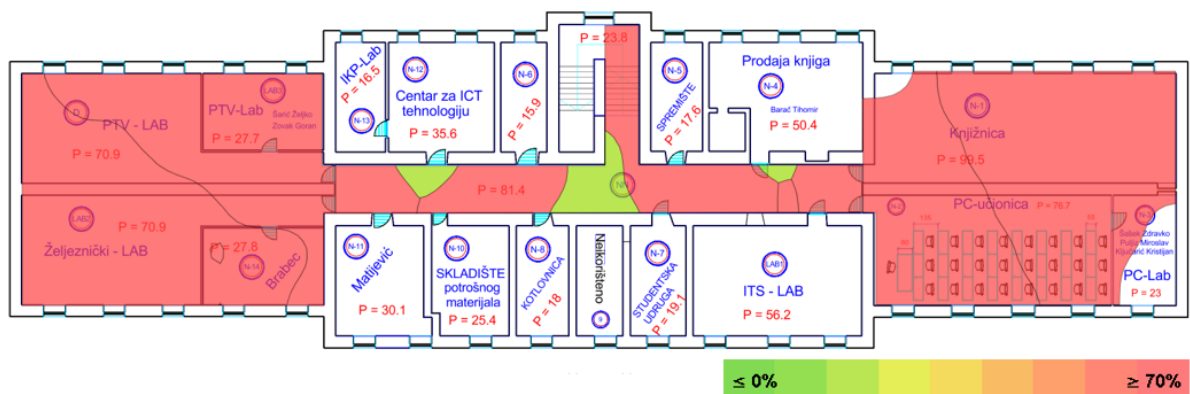
Slika 29 Pokrivenost podruma 2.4 GHz signalom.



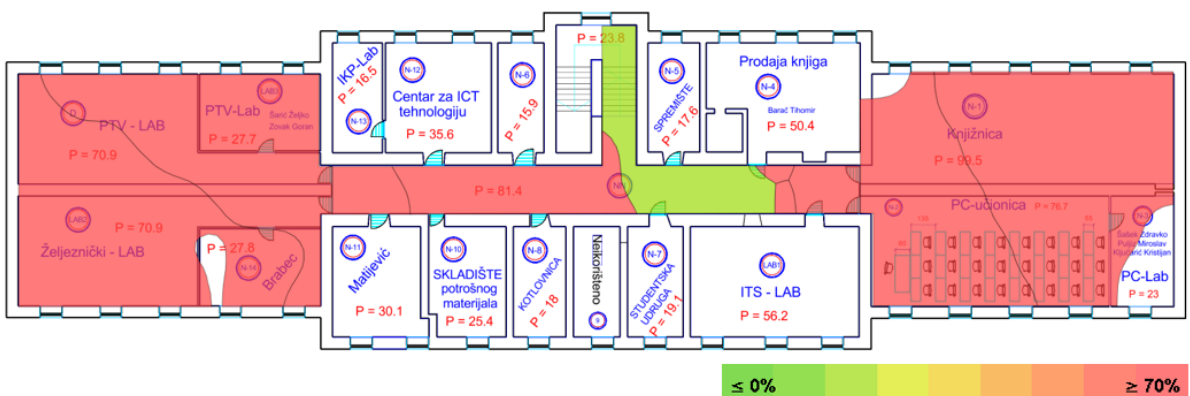
Slika 30 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.

Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja je u podrumu u 2.4 GHz pojasu (slika 31) i u 5 GHz pojasu (slika 32) svugdje 100%, osim na nekim manjim dijelovima gdje je iskorištenost oko 20%. U podrumu je mali broj očekivanih korisnika, no zbog male razine snage signala koju emitira jedna pristupna točka sa hodnika, u nekim dijelovima korisnici se povezuju sa pristupnim točkama sa prizemlja te je na tim područjima iskorištenost zračnog sučelja ponovno 100%.



Slika 31 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 2.4 GHz pojasu.

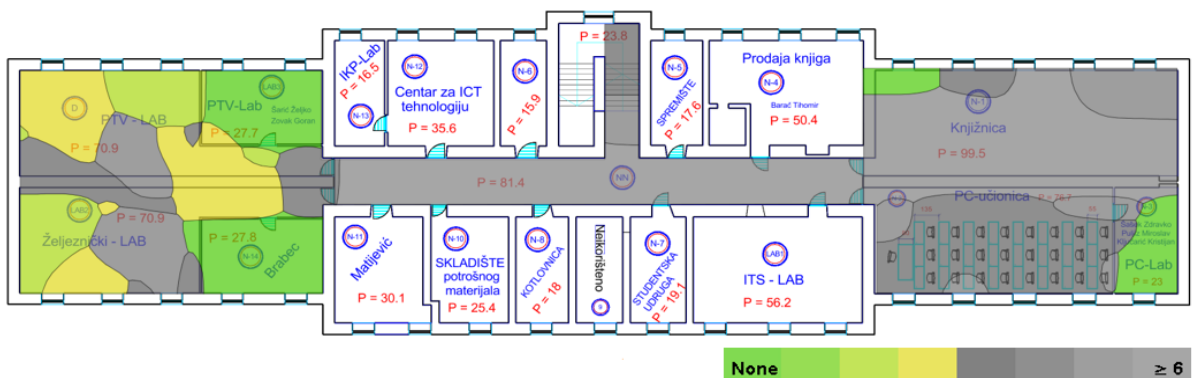


Slika 32 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.

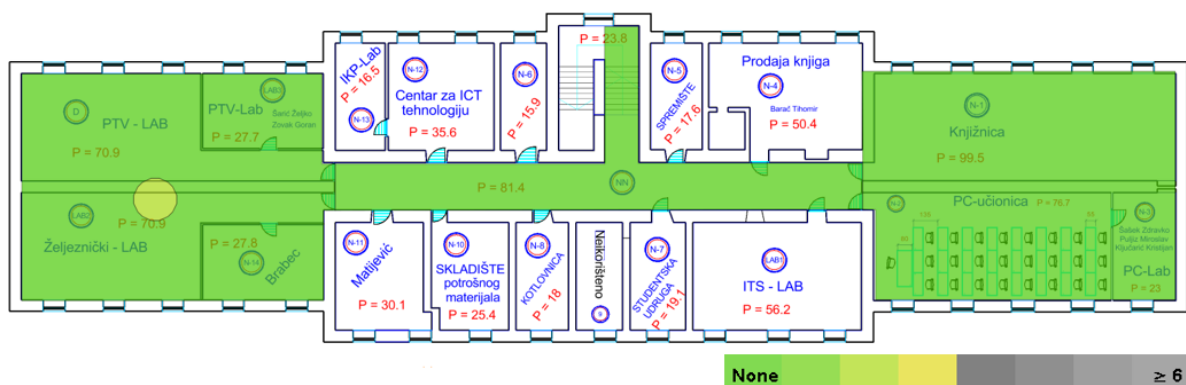
Preklapanje kanala

Kao posljedica postojanja mnogo pristupnih točaka u okolnim objektima, preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu je jako izražajno, u nekim područjima se pojavljuje i do 10 istih preklapajućih kanala (slika 33). Preklapanje po susjednim kanalima ne postoji.

U 5 GHz pojasu preklapanje se skoro ne pojavljuje nikako (slika 34).



Slika 33 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u podrumu.

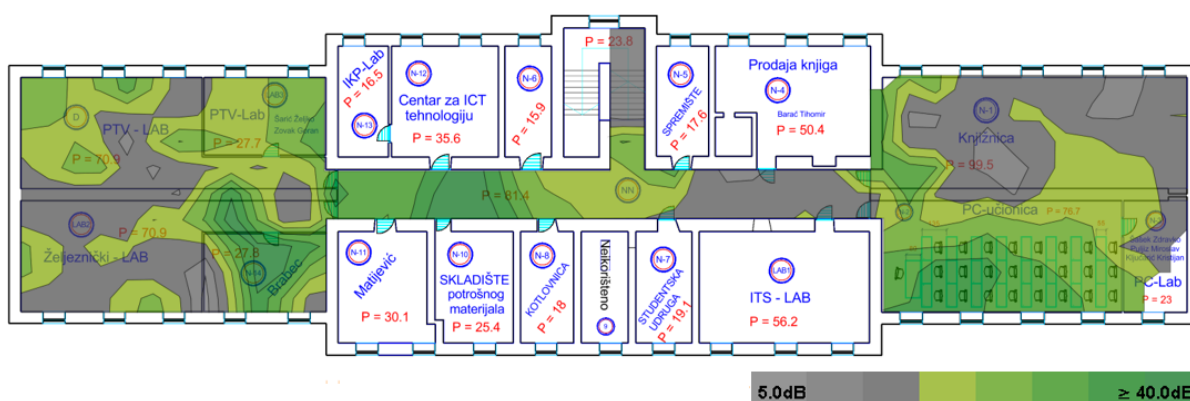


Slika 34 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.

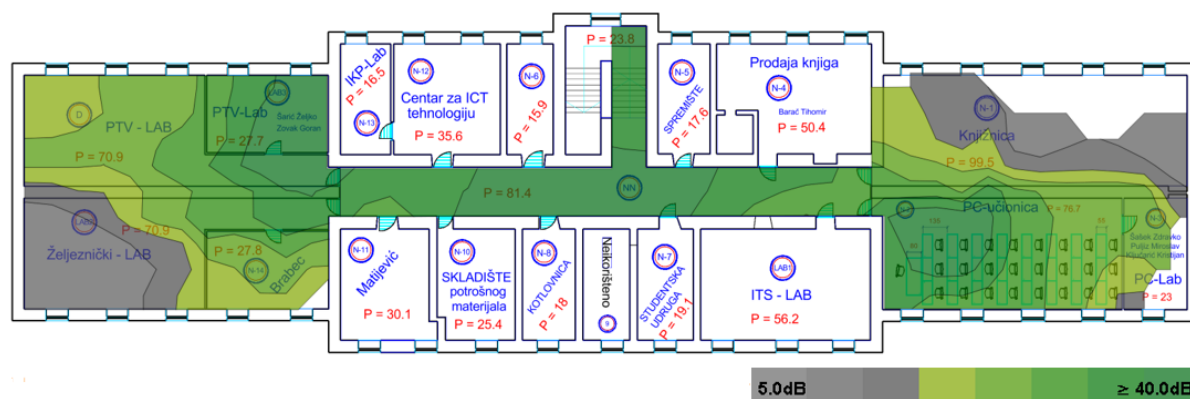
Odnos signal – šum

U 2.4 GHz pojasu omjer signal – šum ima različite vrijednosti po pojedinim dijelovima podruma, uglavnom ima nedostatnu vrijednost zbog niže razine snage signala na krajnjim dijelovima podruma te zbog izražene istokanalne interferencije (slika 35).

Omjer signala i šuma u podrumu u 5 GHz pojasu poprima nedostatne vrijednosti samo po krajnjim dijelovima površine podruma (slika 36).



Slika 35 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u podrumu.

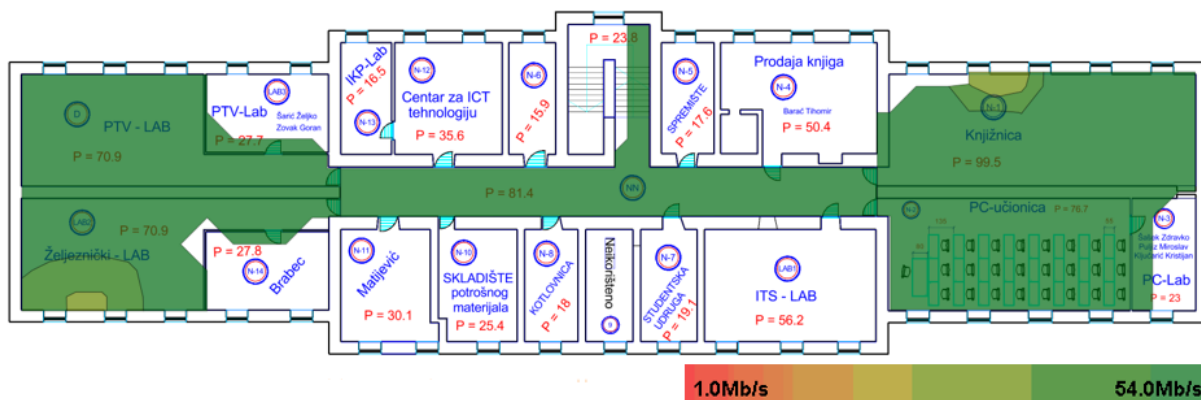


Slika 36 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.

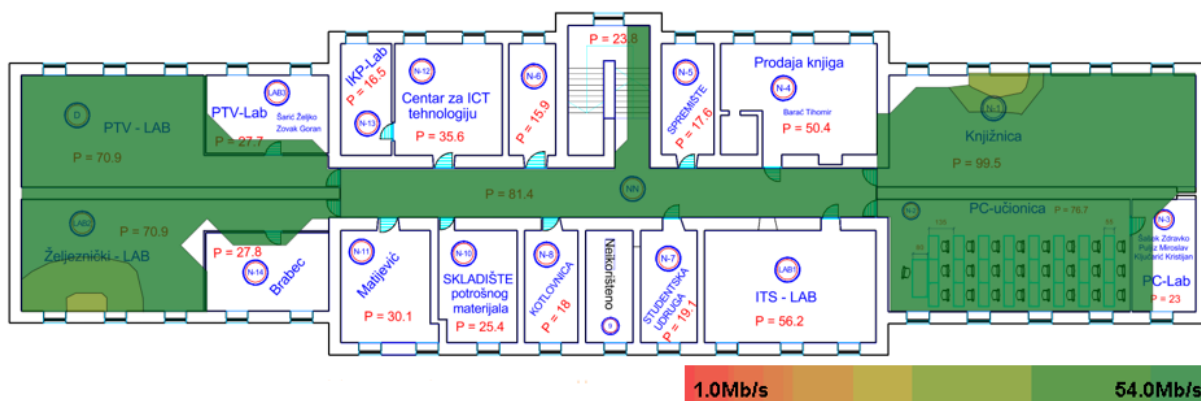
Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u 2.4 GHz pojasu ide do 54 Mbit/s najviše (slika 37).

U 5 GHz pojasu brzina prijenosa također ide do maksimalnih 54 Mbit/s (slika 38).



Slika 37 Brzina prijenosa u podrumu u 2.4 GHz pojasu.



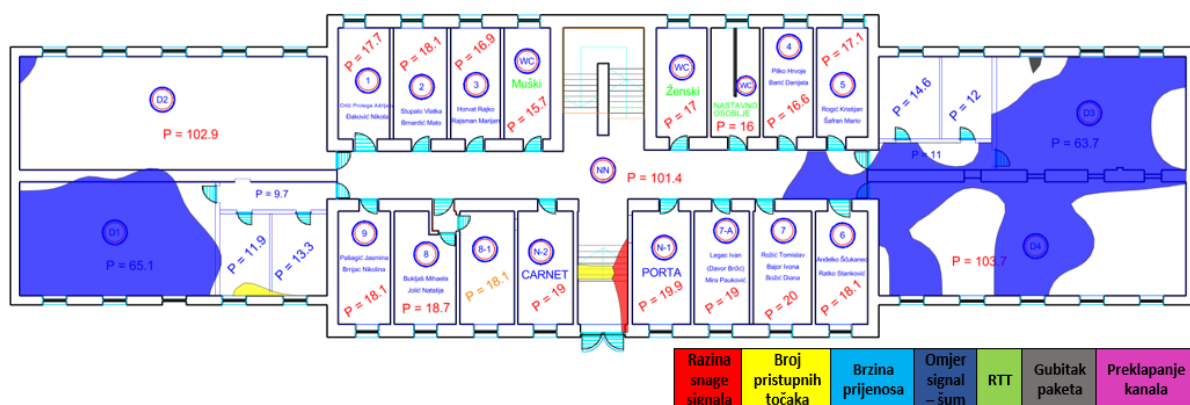
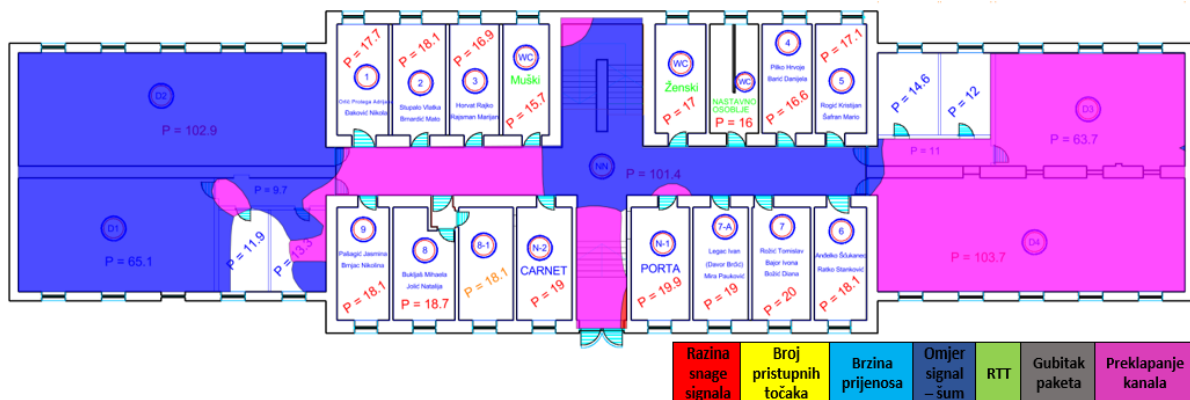
Slika 38 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.

5.1.2. Analiza kvalitete mreže u prizemlju

Problemi sa mrežom

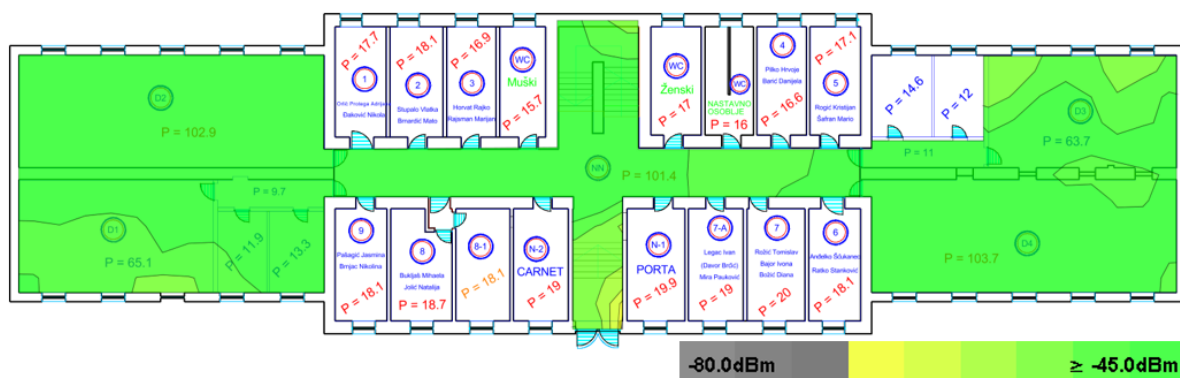
U prizemlju u 2.4 GHz pojasu najveći problem predstavlja preklapanje kanala i omjer signal – šum čemu je uzrok upravo istokanalne interferencije (slika 39).

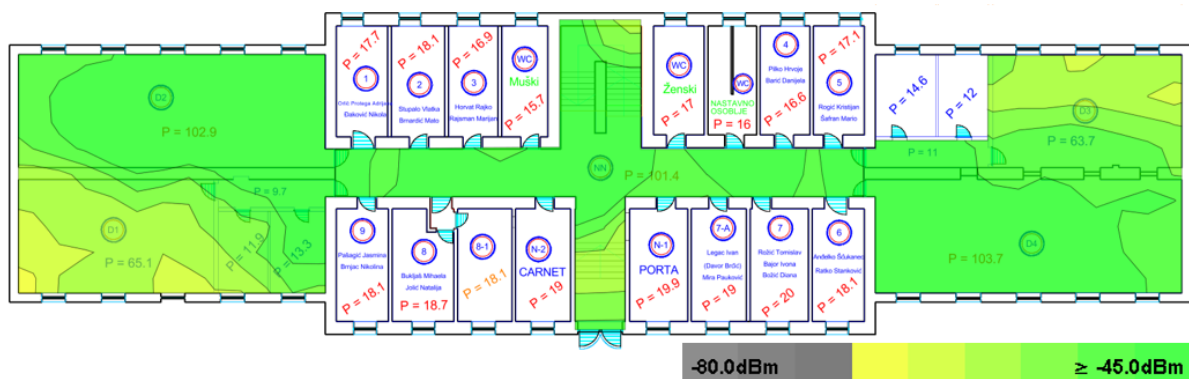
U 5 GHz pojasu na manjem dijelu područja predstavlja problem samo nedovoljan iznos omjera signal – šum (slika 40).



Razina snage signala

Pokrivenost signalom u 2.4 GHz (slika 41) i 5 GHz pojasu (slika 42) u prizemlju je zadovoljavajuća. Svi dijelovi prizemlja su pokriveni signalom koji ispunjava zahtjeve kvalitete.

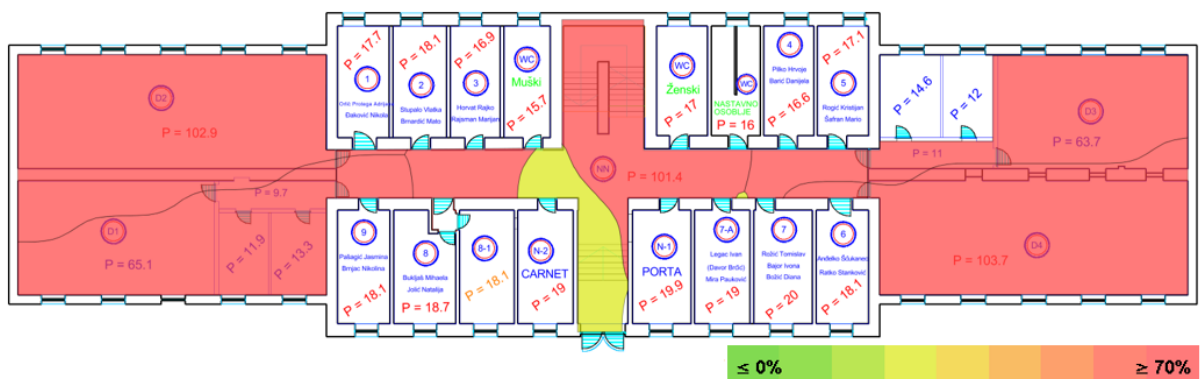




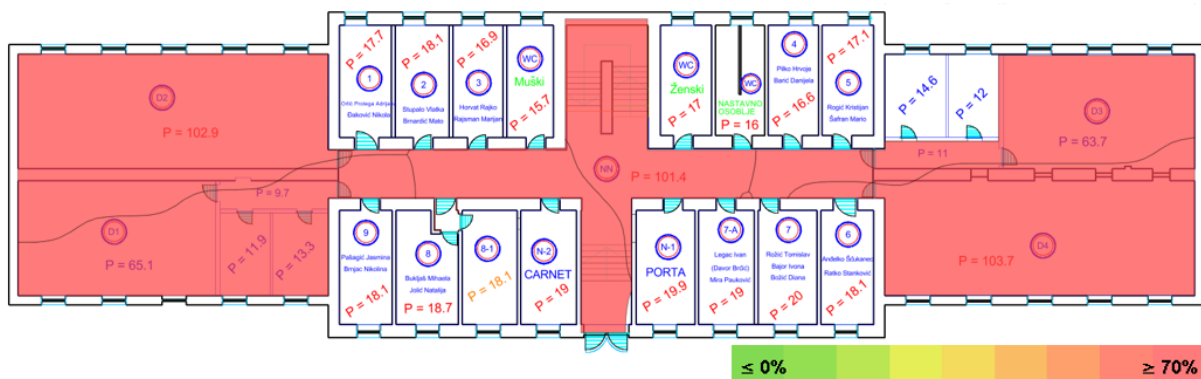
Slika 42 Pokrivenost prizemlja 5 GHz signalom.

Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlje se ne razlikuje previše ode one u podrumu. Iskorištenost je na 100% na skoro svim dijelovima u oba frekvencijska pojasa, 2.4 GHz (slika 43) i 5 GHz (slika 44). Iako je broj pristupnih točaka veći, odnosno pet, u odnosu na stanje u podrumu zbog velikog broja korisnika i njihove zahtjeve, iskorištenost je maksimalna.



Slika 43 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.

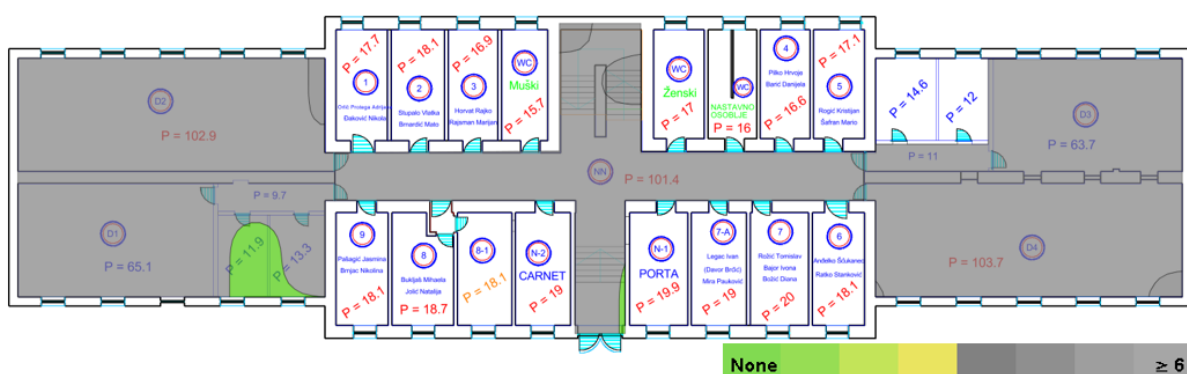


Slika 44 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.

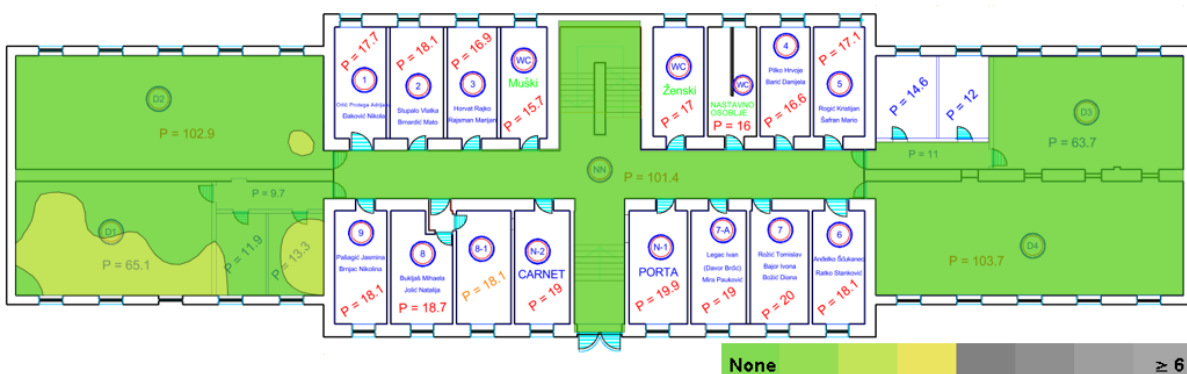
Preklapanje kanala

Preklapanje istih kanala u 2.4 GHz pojasu je najizraženije u prizemlju, gdje se na nekim mjestima javlja preklapanje i do 17 preklapajućih istih kanala (slika 45).

U 5 GHz pojasu stanje je očekivano mnogo bolje, gdje se samo na nekim mjestima javlja preklapanje dvaju istih kanala (slika 46).



Slika 45 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.

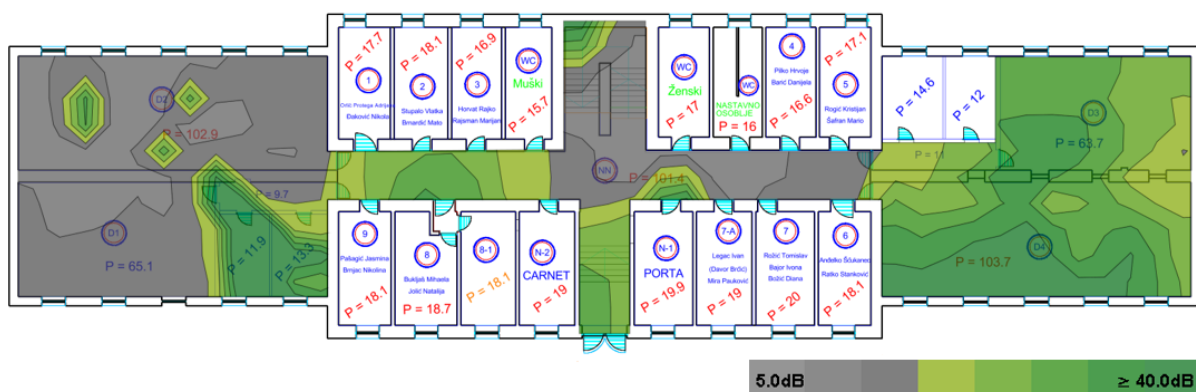


Slika 46 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.

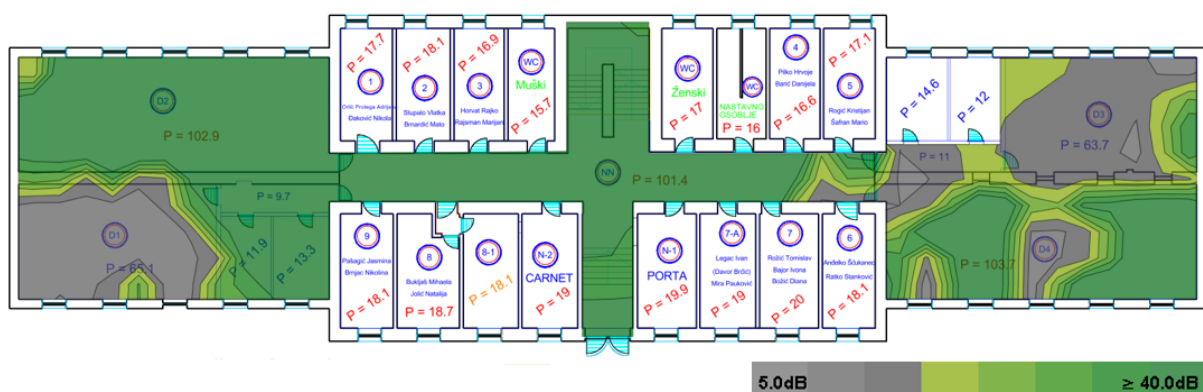
Odnos signal – šum

Odnos signala i šuma na prizemlju u 2.4 GHz pojasu ponovno se razlikuje od dijela do dijela površine prizemlja, jedan kraj ima zadovoljavajuće vrijednosti dok je na drugom kraju situacija nešto lošija. (slika 47).

U 5 GHz pojasu odnos signala i šuma je uglavnom dostatan, no na nekim dijelovima je ipak ispod donje granice (slika 48).



Slika 48 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.

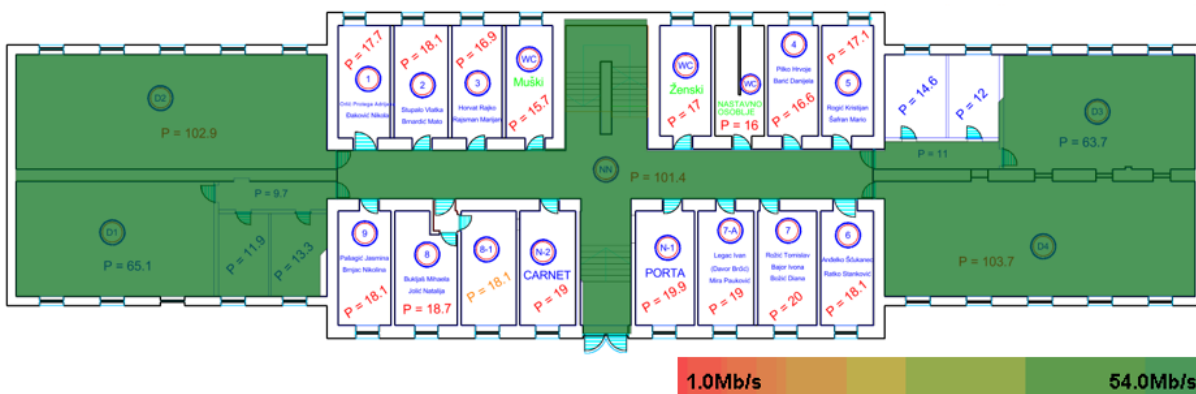


Slika 47 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.

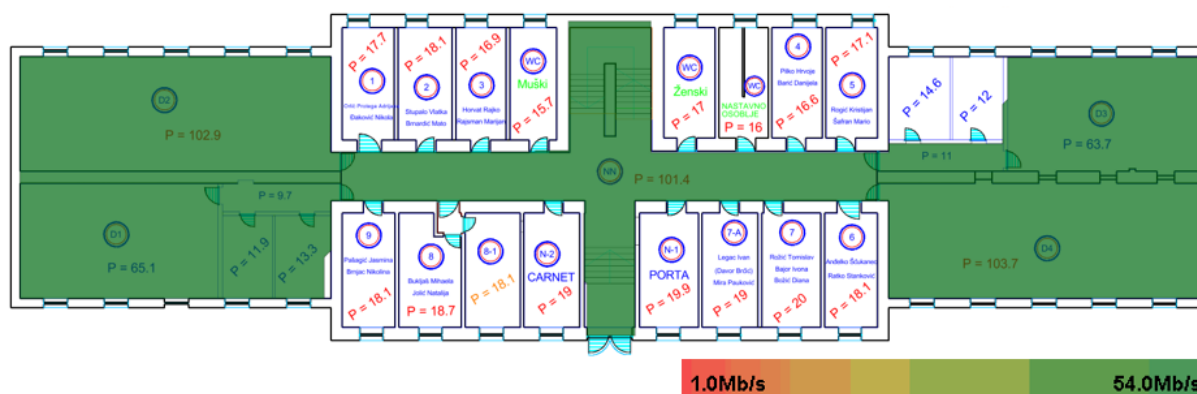
Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u 2.4 GHz pojasu ide do 54 Mbit/s (slika 49).

U 5 GHz pojasu situacija je ista, brzina prijenosa ide do teoretskih 54 Mbit/s (slika 50).



Slika 49 Brzina prijenosa u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.



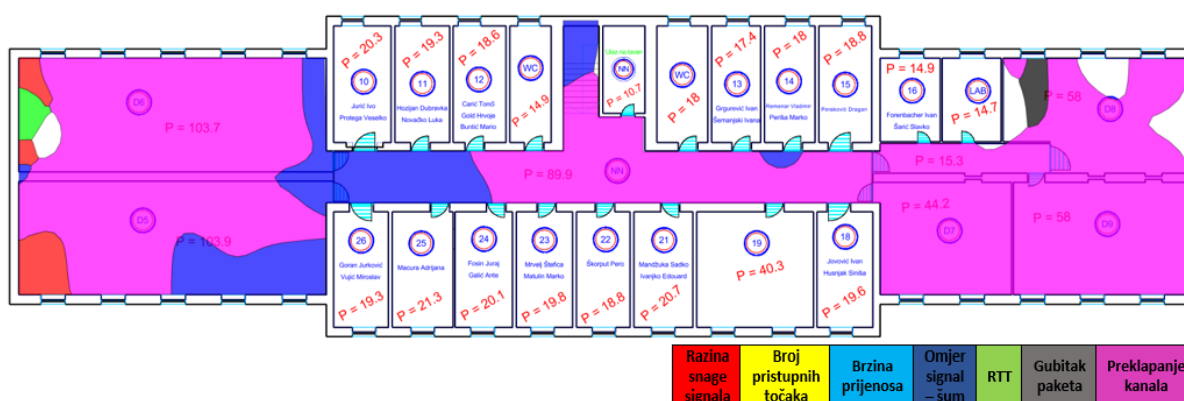
Slika 50 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.

5.1.3. Analiza kvalitete mreže na katu

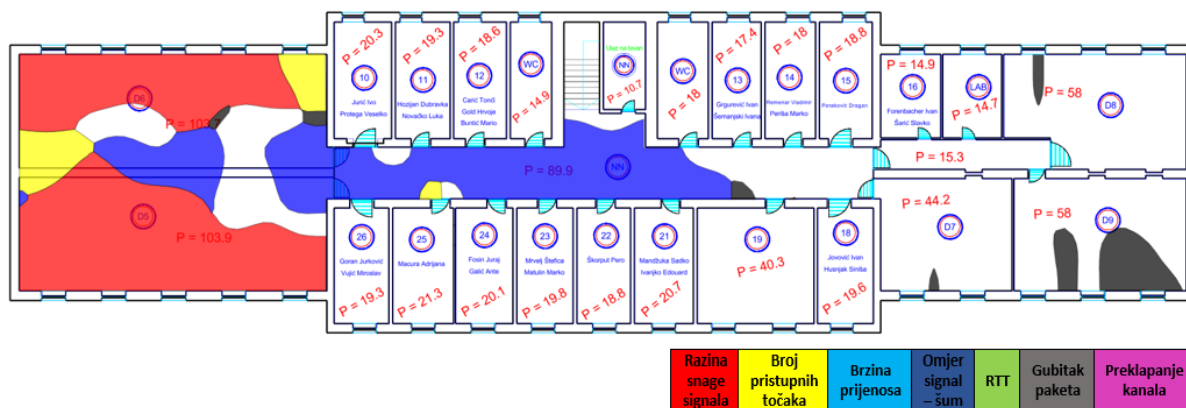
Problemi sa mrežom

U 2.4 GHz pojasu na katu prevladavajući problem je preklapanje kanala (slika 51). Uz preklapanje kanala, također problem predstavlja odnos signal – šum zbog postojanja samo jedne pristupne točke te posljedično tome pojave niske razine snage signala te velike istokanalne interferencije.

U 5 GHz pojasu, također kao rezultat postojanja samo jedne pristupne točke i visoke istokanalne interferencije, problem predstavlja niska razina snage signala i odnos signal – šum (slika 52).



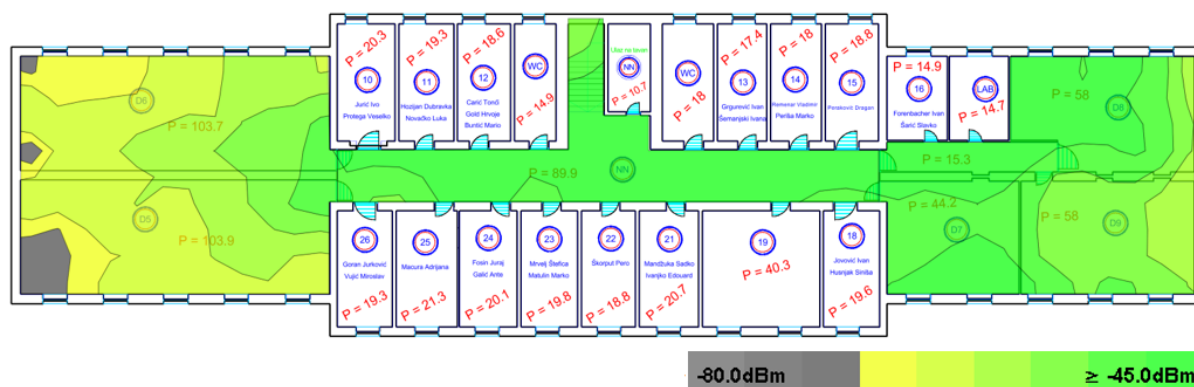
Slika 51 Problemi sa mrežom na katu u 2.4 GHz pojasu.



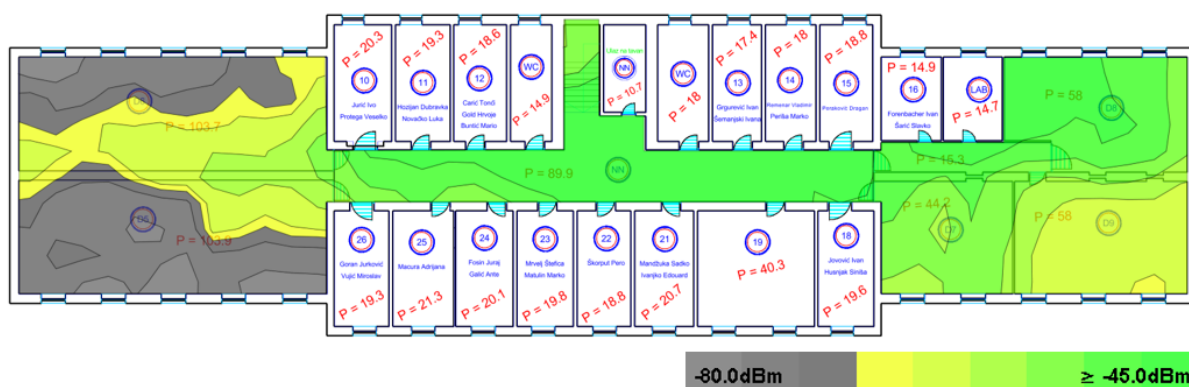
Slika 52 Problemi sa mrežom na katu u 5 GHz pojasu.

Razina snage signala

Pokrivenost signalom u 2.4 GHz pojasu na katu nisu obuhvaćeni krajnji dijelovi objekta (slika 53), dok je u 5 GHz pojasu stanje dosta lošije, gdje u dvoranama D5 i D6 razina snage signala pada ispod -70 dB i ne zadovoljava postavljenje zahtjeve (slika 54).



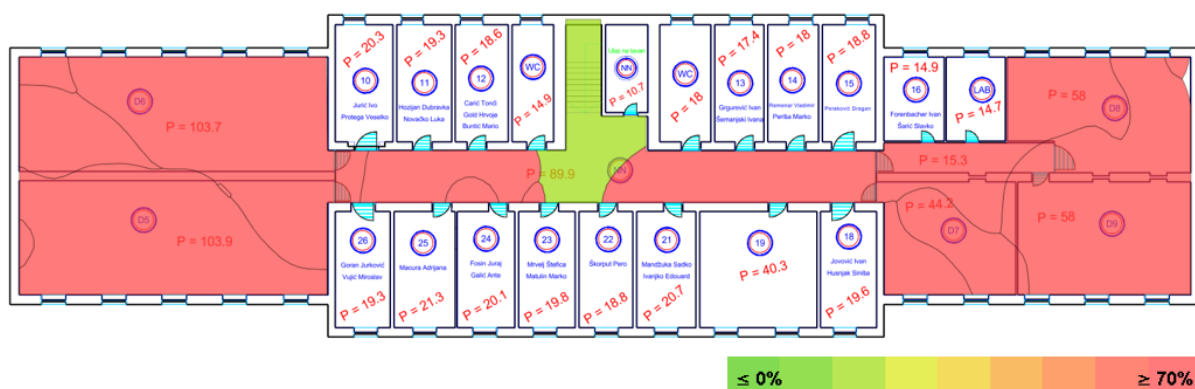
Slika 53 Pokrivenost kata 2.4 GHz signalom.



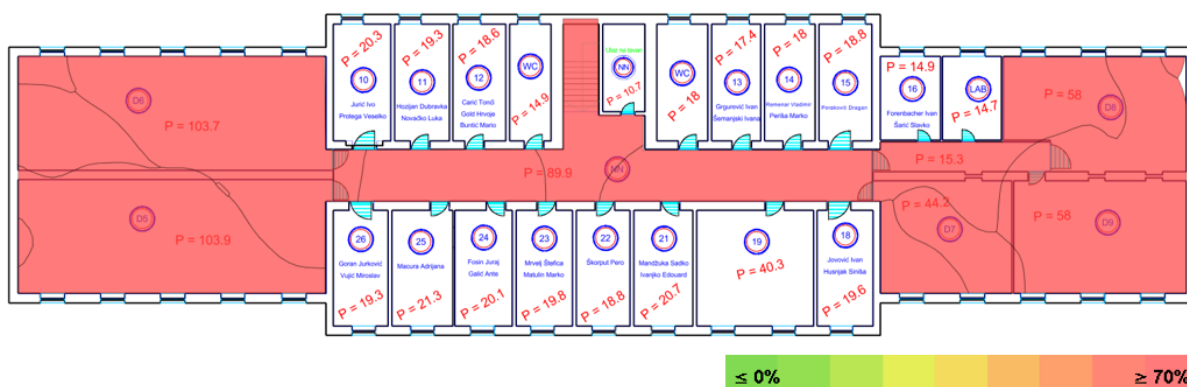
Slika 54 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.

Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja na katu objekta 71 je u skoro na svim dijelovima 100% u oba frekvencijska pojasa (slika 55 i slika 56). Glavni uzrok postojećeg stanja je postojanje samo jedne pristupne točke i velik broj korisnika.



Slika 55 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 2.4 GHz pojasu.

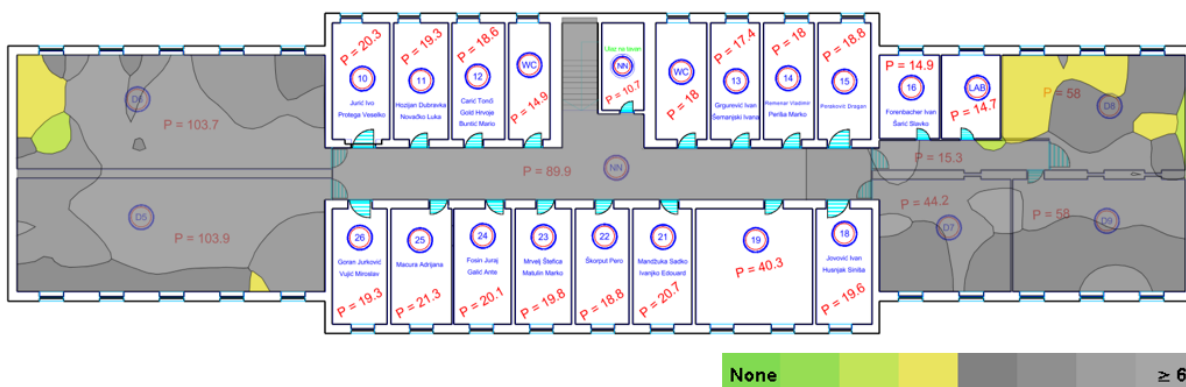


Slika 56 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.

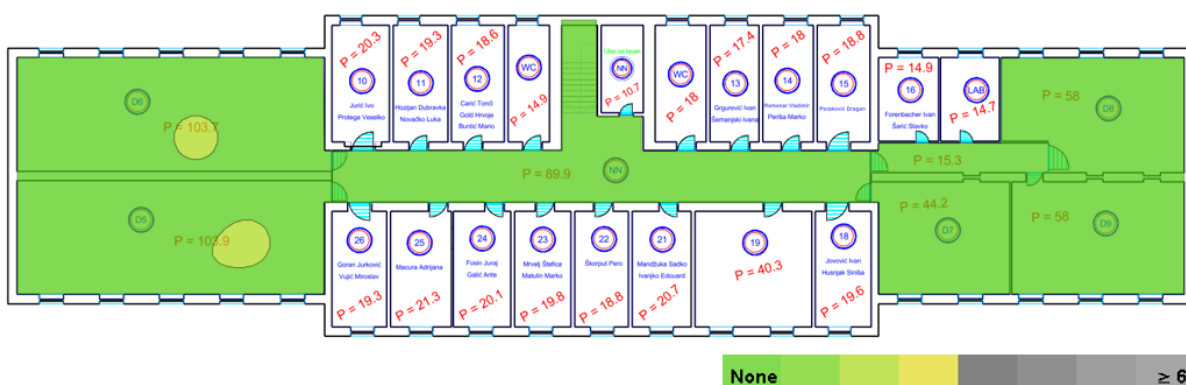
Preklapanje kanala

Preklapanje kanala na katu u 2.4 GHz pojasu također je izražajno i na katu, gdje se na nekim mjestima preklapa i do 7 istih kanala (slika 57).

U 5 GHz pojasu preklapanje kanala se skoro ne javlja (slika 58).



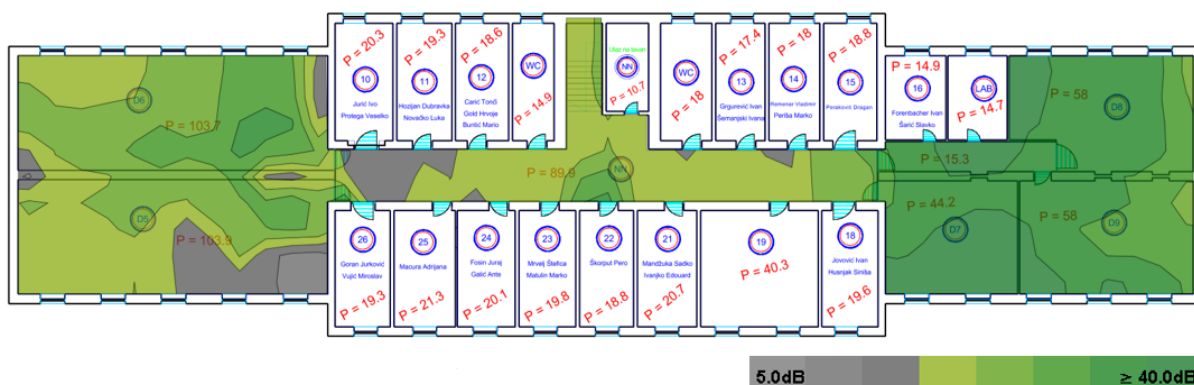
Slika 57 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu na katu.



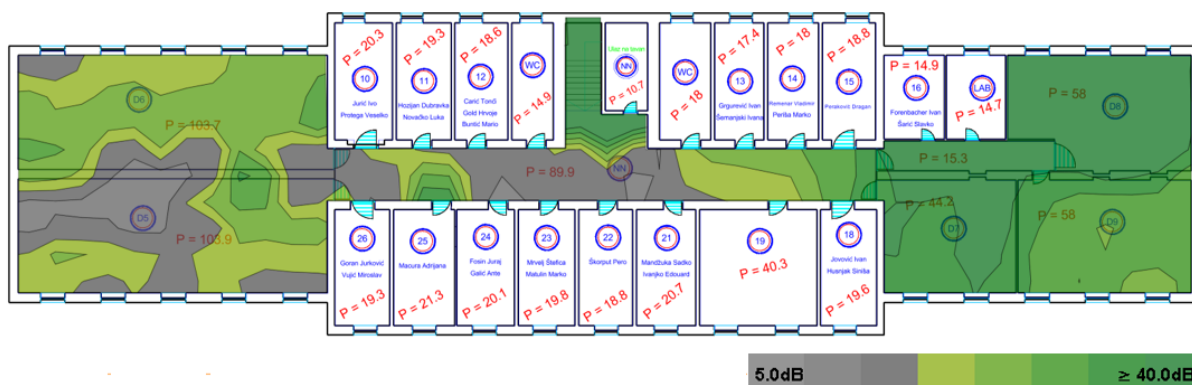
Slika 58 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.

Odnos signal – šum

Kao posljedica niske razine signala i velike istokanalne interferencije odnos signal – šum je dosta nizak u 2.4 GHz pojasu (slika 59) te na nekim dijelovima nedovoljan u 5 GHz pojasu (slika 60).



Slika 59 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu na katu.

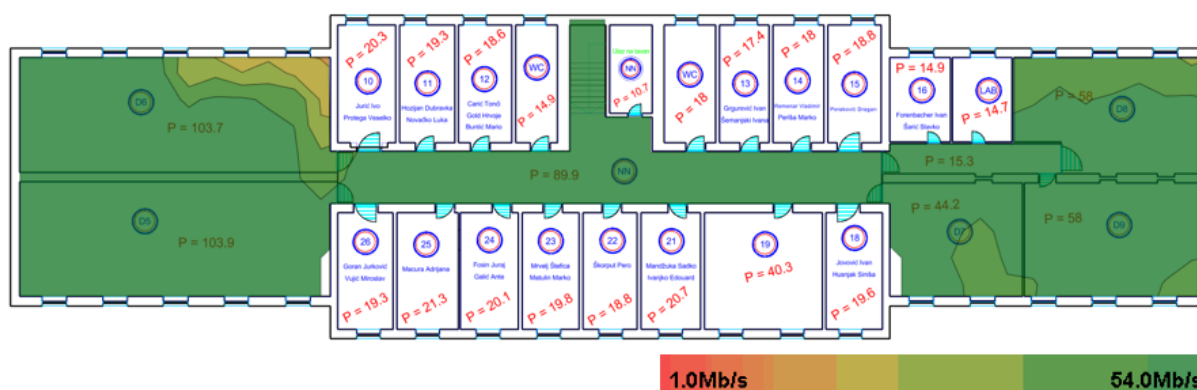


Slika 60 Omjer signal - šum u 5 GHz katu na katu.

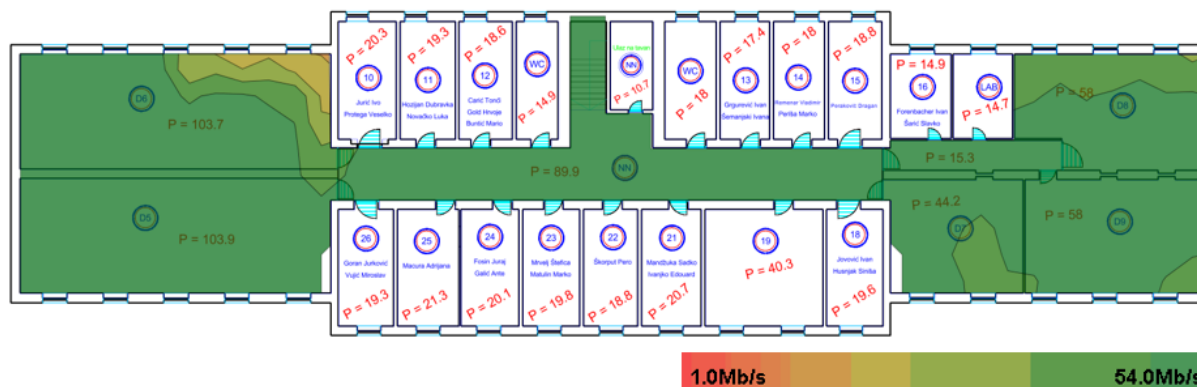
Brzina prijena

Brzina prijena u 2.4 GHz frekvencijskom pojasu ide do teoretskih 54 Mbit/s na veem dijelu površine kata (slika 61).

U 5 GHz pojasu maksimalna brzina prijena ide takoer do 54 Mbit/s (slika 62).



Slika 61 Brzina prijena na katu u 2.4 GHz pojasu.



Slika 62 Brzina prijena na katu u 5 GHz pojasu.

5.2. Interpretacija rezultata analize

Jedan glavnih nedostataka mreže objekta 71 je manjak pristupnih točaka, pri čemu razni parametri ukazuju na to. Jedna od posljedica manjka pristupnih točaka je nedovoljna razina snage signala na nekim mjestima, posebice u 5 GHz pojasu, jer signal pri većim frekvencijama slabije propagira. Donja granica prema zahtjevima za *voice* iznosi -67 dB, dok razina snage signala u Objektu 71 u podrumu i na katu nerijetko pada ispod -70 dB, negdje pak i ispod -75 dB, a signal koji ima razinu snage manju od -75 postaje neupotrebljiv. Kako bi se dobila slika koliko je to zaista manje nego što bi trebalo biti, potrebno je razumjeti da se decibeli ne ravnaju po linearnoj ljestvici i da 3 dB gubitka znači da je signal upola slabiji, odnosno 10 dB gubitka znači da je signal 10 puta slabiji. U podrumu se nalazi samo jedna pristupna točka koja emitira samo u 2.4 GHz pojasu zbog čega je pokrivenost sa 5 GHz signalom posebno loša i ide do -75 dB, pokrivenost se pojavljuje se samo na mjestima ispod pristupnih točaka koje se nalaze na prizemlju, ali je uglavnom razina signala jako loša te je kao takav skoro neupotrebljiv. U 2.4 GHz pojasu razina snage signala ne odgovara zahtjevima samo na krajnjim dijelovima objekta, gdje se kreće od -70 do -75 dB, no tu spada i veći dio površine knjižnice fakulteta gdje je odgovarajuća razina snage posebno potrebna kako bi omogućila studentima normalan rad. Na katu se također nalazi samo jedna pristupna točka. U 2.4 GHz razina snage signala je većinom iznad postavljene minimalne vrijednosti, jedini problem predstavljaju dvorane 5 i 6, gdje je razina snage signala pada do -70 dB, što zadovoljava zahtjeve za e-poštu ili pretraživanje weba. U 5 GHz pojasu nedostatna razina snage signala u dvoranama 5 i 6 je posebno izražena, razina snage signala kreće se oko -75 dB, a negdje pada i do -80 dB.

Iskorištenost zračnog sučelja je glavni pokazatelj kvalitete mreže. Na iskorištenost zračnog sučelja izravno utječe broj klijenata koje pristupna točka poslužuje, ali i drugi parametri kao što su odnos signala i šuma, brzina prijenosa i istokanalna interferencija. Na osnovu zadanih zahtjeva za aplikacije i vrstu uređaja, zbog velike gustoće korisnika i premalog broja pristupnih točaka iskorištenost zračnog sučelja je skoro svugdje 100%, dok je prema zahtjevima za *voice* gornja granica 50%. Naime, u Objektu 71 se dešava to da je jedna pristupna točka predviđena za područje na kojem se očekuje negdje i preko 100 klijenata (na primjer na katu), a dok bi prema ovim zahtjevima za propusnost sadašnja pristupna točka mogla podržati oko 30 klijenata, bez da iskorištenost prelazi 50%. Razlog ovakvih rezultata su i poprilično loše vrijednosti drugih parametara. Zbog nedostatne razine snage signala na nekim područjima, odnos signala i šuma je poprilično nizak što uzrokuje manje brzine prijenosa te na kraju i veće zauzeće zračnog sučelja. Istokanalna interferencija je također izražena zbog preopterećenosti 2.4 GHz pojasa. Kada je prisutna istokanalna interferencija preklapaju se ćelije različitih radio odašiljača i uzrokuje da transmisija iz jedne ćelije uzrokuje odgodu transmisije u ćeliji druge pristupne točke, tako će te dvije ćelije različitih pristupnih točaka dijeliti zračno sučelje. Također korišteni su 802.11 standardi koji ne podržavaju velike brzine prijenosa kao niti MIMO

tehnologiju, a grafom 1³ je prikazano koliki utjecaj MIMO tehnologija ima na iskorištenost zračnog sučelja.

Preklapanje kanala je jako izraženo u svim dijelovima Objekta 71. Najveći broj preklapajućih istih kanala koji dozvoljavaju zahtjevi za *voice* je tri. Brojka preklapajućih kanala u 2.4 GHz pojasu nerijetko je veća od 10. Preklapanje ovakvog broja kanala ima znatan utjecaj na iskorištenost zračnog sučelja. Uzrok ovakvoj situaciji je neadekvatno planiranje mreže u samom Objektu 71, kao i u okolnim objektima koji se nalaze u blizinu. Korištene su prevelike razine snage pri čemu dolazi do curenja signala u druge ćelije, ali preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu na područjima velike gustoće klijenata svakako je neizbježno, zbog čega je potrebno vršiti tranziciju na 5 GHz pojas. Naime, preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u Objektu 71 skoro se ne javlja.

Nešto lošijem odnosu signala i šuma na pojedinim područjima Objekta 71 razloge treba tražiti u istokanalnoj interferenciji i nedostatnoj razini snage signala. Odnos signala i šuma uglavnom zadovoljava zahtjeve i poprima vrijednosti do 40 dB, no problematična su područja gdje je razina snage signala premala, kao što je slučaj u podrumu i na katu. U podrumu, gdje se nalazi jedna pristupna točka, nedovoljan iznos omjera signala i šuma vidljiv je na krajnjim dijelovima objekta, posebno u 5 GHz pojasu zbog odsustva emitiranja u podrumu. Donja granica prema zahtjevima za *voice* inače je 25 dB, dok u podrumu pada i do 10 dB. Kao i u slučaju razine snage, posebno je problematično područje knjižnice, gdje je neophodno imati pristup mreži bez problema. Problematično područje se javlja i na katu, u dvoranama 5 i 6, gdje također razina snage signala bilo jako loša, posebno u 5 GHz pojasu.

Brzine prijenosa u Objektu 71 idu do maksimalnih teoretskih 54 Mbit/s u oba frekvencijska pojasa, koliko omogućuju sadašnje pristupne točke i korišteni standardi. Ove su brzine, kada se analiziraju današnje mogućnosti, poprilično niske. Kada se usporedi na primjer sa brzinama prijenosa koje nude pristupne točke proizvođača *Ruckus*, koje idu i do 800 Mbit/s. Pored toga, ova teoretska maksimalna brzina biva još degradirana usred loše razine snage signala i negdje pada i do teoretskih 50 Mbit/s.

Kako bi se uočeni nedostaci korigirali, a mreža unaprijedila, potrebno je promijeniti nekoliko elemenata mreže i zauzeti više holistički pristup koji će istovremeno uzeti u obzir više elemenata mreže, a ne samo jedan. To je napravljeno kroz tri predložena idejna rješenja, odnosno prediktivne modele unaprjeđenja mreže Objekta 71 koji su prikazani u poglavlju 6.

³ Stranica 30.

6. Prijedlog unaprjeđenja WLAN mreže Objekta 71

6.1. Definiranje zahtjeva mreže

Svijet se mijenja ubrzano te obrazovanje mora biti u korak sa tim promjenama. Proces digitalizacije se odražava i na obrazovanje te uz napredak u pedagogiji, evaluaciji, angažmanu studenata omogućuju unaprjeđenje obrazovanja svakodnevno. Kako se svijet obrazovanja mijenja, profesori i studenti se moraju adaptirati. Ono što studenti danas trebaju jest da imaju mogućnost fleksibilnog, adaptivnog i kontinuiranog učenja. Studenti se povezuju međusobno, sa stručnjacima, profesorima, resursima i informacijama. Jednom kada su povezani, kada imaju pristup, studentima je osim aktivnog učenja omogućeno da se dodatno razvijaju svoje vještina i proširuju znanja. Uzimajući u obzir današnje potrebe studenata te stalno unaprjeđenje obrazovanja, bitno je osigurati WLAN mrežu koja će studentima pružiti pristup svim potrebnim resursima i informacijama u raznim oblicima, koja će omogućiti povezivanje studenata sa drugim subjektima, odnosno razgovore sa njima, pristup webinarima i slično.

Mreža mora podržati veliki veliku gustoću korisnika, razne aplikacije te uza sve to mora biti skalabilna. Potrebe za propusnošću mogu samo rasti, zbog toga mreža to donekle mora podržati. Zbog svega što je prethodno navedeno, pristup planiranju mreže će biti dosta liberalan. Mreža će se planirati za podržavanje *Voice + Data*, pa će parametri mreže biti postavljeni kako bi zadovoljili zahtjeve za *Voice + Data*, a koji su u ovom slučaju definirani od strane *EkaHau Site Survey* (slika 63). Tako je za minimalnu razinu snage definirana vrijednost od -67 dBm, pri čemu je -87 dBm granica na kojoj počinje preklapanje signala. Broj dopuštenih preklapanja po istom kanalu je najviše tri. Odnos signal – šum treba biti veći od 20 dBm. Najmanju brzinu prijenosa je 20 Mbit/s.

Criteria	Requirement	Value	Unit
Signal Strength	Min	-67	dBm
Signal-to-noise Ratio	Min	20	dB
Data rate	Min	20	Mbps
Number of Access Points	Min	2	at min. -75 dBm
Channel Overlap	Max	3	at min. -85 dBm
Round Trip Time (RTT)	Max	200	ms
Packet Loss	Max	2	%

Slika 63 Prikaz zahtijevanih minimalnih vrijednosti pojedinih parametara.

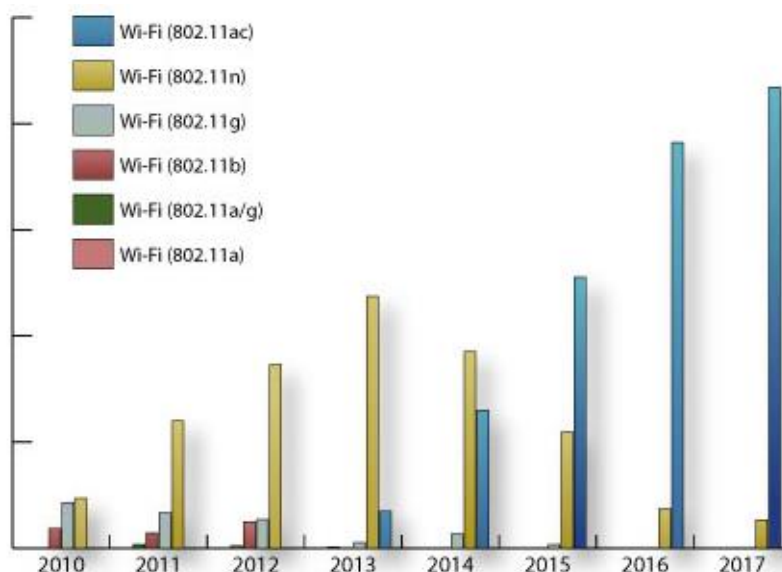
6.2. Definiranje profila terminalnih uređaja

Studenti od terminalnih uređaja obično sa sobom uvijek nose pametni telefon. Pri definiranju profila terminalnih uređaja korištene karakteristike pametnih telefona sa standardom 802.11n/ac sa mogućom propusnošću do 80 MHz (slika 64).



Slika 64 Prikaz profila pametnog telefona.

Naime, razlog upotrebe ova dva standarda je što koriste MIMO 2x2:2 tehnike prijenosa. Kao opravdanje za ovaj izbor uzeto je to da 96.6% pametnih telefona sa stranice *gsmarena.com* proizvedenih od 2012. godine podržava ova dva standarda. Također, prema istraživanju od strane *ABI Research* čiji su rezultati prikazani grafom 4, prikazuje se tranzicija sa 802.11n na 802.11ac standard.

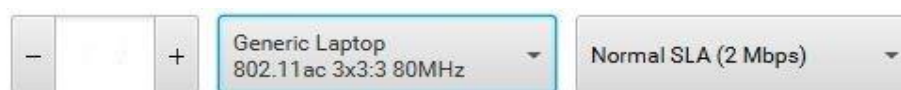


Graf 4 Prikaz tranzicije sa 802.11n na 802.11ac standard.

Preuzeto od [35].

Jos jedan terminalni uređaj koji studenti također koriste na fakultetu su prijenosna računala. Prijenosna računala u ovom slučaju koriste također standard 802.11n/ac, sa

moogućom propusnošću do 80 MHz, ali je u ovom slučaju korišten MIMO 3x3:3, pri čemu je brzina prijenosa još i veća (slika 65).



Slika 65 Prikaz profila prijenosnog računala.

Postavljeno je da svaki uređaj zahtjeva kapacitet od 2 Mbit/s, koliko zahtjeva *stream* nekog videa [22].

6.3. Definiranje zahtjeva za kapacitetom

Objekt 71 posjeduje više dvorana u kojemu se očekuje velika gustoća korisnika. Dvorane su različitog kapaciteta, od 54 do 96 te računalni kabineti kapaciteta prosječno oko 20 mjesta. No uzimajući u obzir predavanja koje se održavaju u objektu 71, to su obično vježbe za studente prve dvije godine, kojih inače ima jako puno ali su tu obično podijeljeni u manje grupe koje nikada ne ispunjavaju dvorane u potpunosti. S druge strane imamo studente viših godina, koji pohađaju predavanja pojedinih smjerova. Broj studenata po smjerovima nije velik te njihova predavanja također obično ne ispunjavaju kapacitet dvorane.

Za kapacitet dvorana uzet će se 80% stvarnog kapaciteta dvorane, što bi trebalo biti dovoljno i u nekim realnim uvjetima povećanog broja korisnika. U obzir se uzima da studenti sa sobom nose do dva uređaja, pametni telefon i prijenosno računalo. Prijenosno računalo će biti manje zastupljeno, obično u knjižnici koja predstavlja mjesto na kojemu studenti uče, dok će se na predavanjima u dvoranama rijetko koristiti, tek poneko možda za neke određene situacije.

6.4. Prediktivni model unaprjeđenja mreže – Ruckus ZoneFlex R710

6.4.1. Distribucija broja potrebnih pristupnih točaka

Za prvu verziju plana mreže fakulteta odabrana je pristupna točka *Ruckus ZoneFlex R710* (slika 66). Pristupne točke tvrtke *Ruckus* jedne su od cjenjenijih na tržištu, pokazuju jako dobre rezultate u područjima sa jako velikom gustoćom.

Ruckus ZoneFlex R710 podržan je standardom 802.11ac sa *Multi-User* MIMO (MU-MIMO) 4x4:4 tehnikom prijenosa. Omogućuje propusnost do 800 Mbit/s (2.4 GHz pojas)

odnosno do 1733 Mbit/s (5 GHz pojas) [36]. Preporučena maloprodajna cijena iznosi 1295.00\$ [37].

Planom je utvrđeno da bi bilo potrebno 14 pristupnih točaka u objektu 71 kako bi se zadovoljili svi mrežni zahtjevi i zahtjevi kapaciteta. Na katu bi trebalo biti njih šest, na prizemlju pet i u podrumu tri.



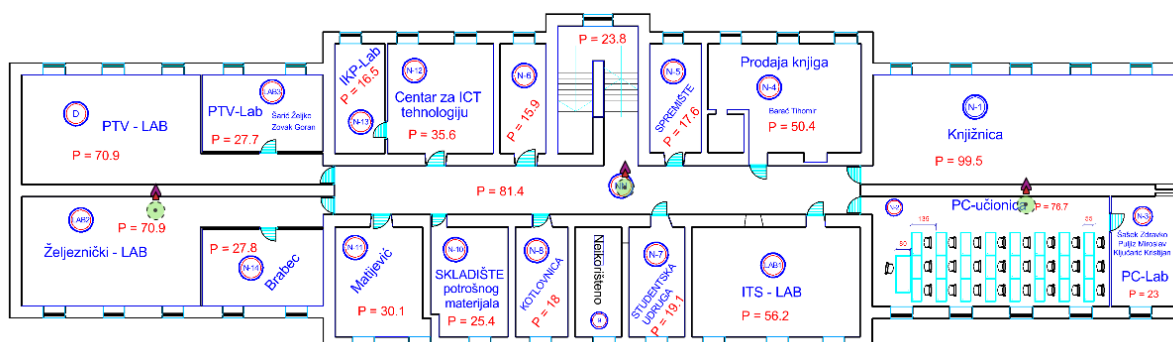
Slika 66 Pristupna točka korištena za prvu verziju prediktivnog modela mreže Objekta 71 - Ruckus ZoneFlex R710.

Preuzeto od [36].

6.4.2. Raspored pristupnih točaka

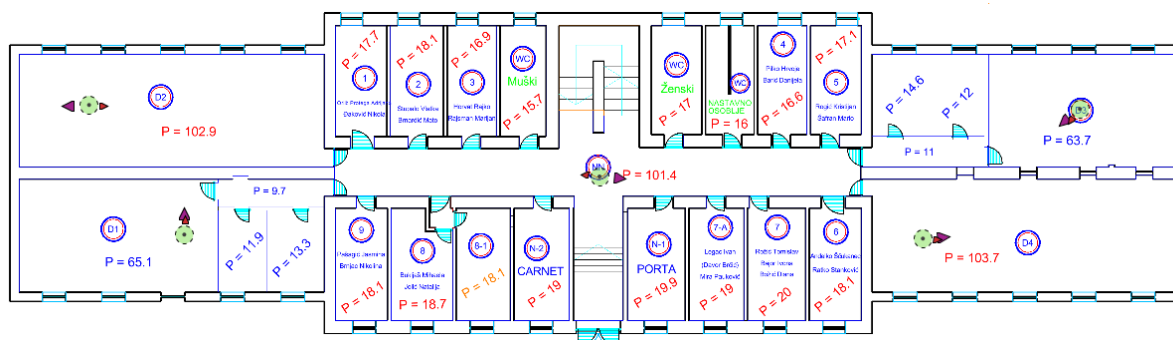
Raspored pristupnih točaka ovisi o broju korisnika koji se očekuje na pojedinim područjima, tako su neke površine pokrivene sa manje pristupnih točaka dok su iste takve negdje pokrivene sa dosta više njih. Pristupne točke su obično smještene po dvoranama u kojima je velika gustoća korisnika, dok se po hodnicima nalazi po jedna pristupna točka kako bi se osigurao *roaming*.

U podrumu se ne očekuje velik broj korisnika te su ovisno o tom smještene tri pristupne točke koje će osigurati pokriće signalom u oba frekventijska pojasa na cijelome prostoru podruma (slika 67).



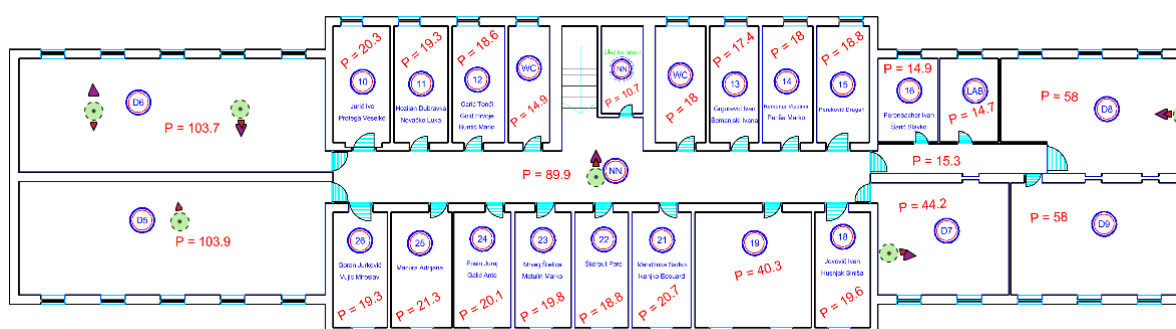
Slika 67 Raspored pristupnih točaka u podrumu.

U prizemlju je planirano postavljanje njih pet (slika 68). Po jedna pristupna točka bila bi u dvoranama D1 i D2, kao i u dvoranama D3 i D4, pri čemu sve pristupne točke rade u *dual band* načinu. U hodniku je planirana jedna pristupna točka veće razine snage signala kako bi omogućila *roaming* korisnicima.



Slika 68 Raspored pristupnih točaka u prizemlju.

Na katu se nalazi šest pristupnih točaka (slika 69). Budući da se u dvoranama D5 i D6 očekuje velika gustoća korisnika potrebno je bilo postaviti tri pristupne točke sa manjom razinom snage signala na tom području, pri čemu dvije rade u *dual band* načinu, a jedna samo u 5 GHz načinu rada. Hodnik je pokriven sa jednom pristupnom točkom podešenom na veću razinu snage kako bi pokrila hodnik u kojem se ne očekuje veći broj korisnika, koji su obično ne zadržavaju na hodnicima previše te je bitno bilo osigurati *roaming*. Tri računalne učionice su pokrivene sa dvije pristupne točke budući da su kapaciteti tih učionica manji te se ne očekuje jako velik broj korisnika tu.



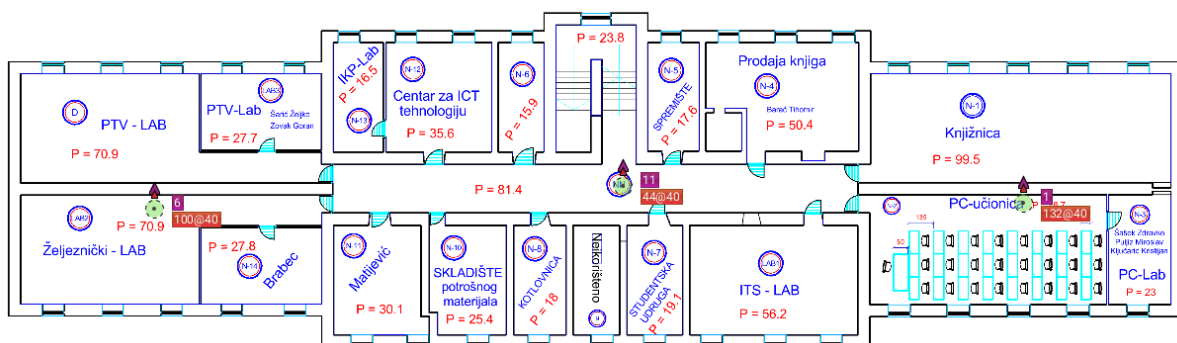
Slika 69 Raspored pristupnih točaka na katu.

6.4.3. Konfiguracija kanala pristupnih točaka

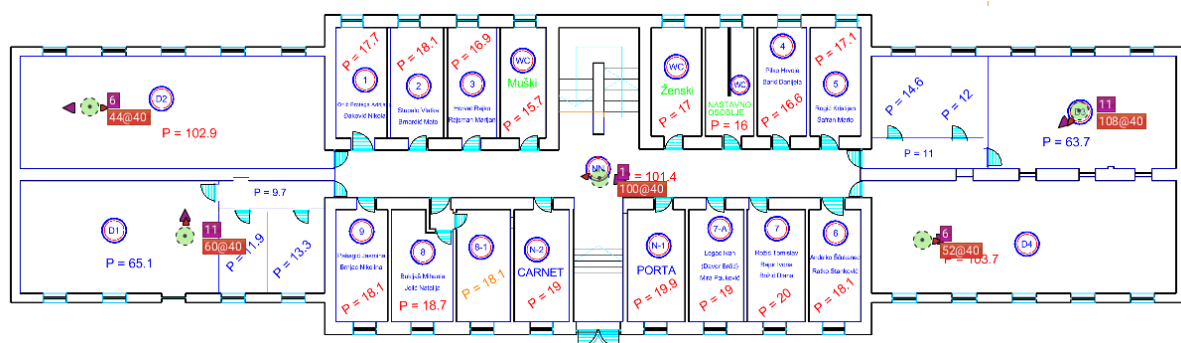
Za objekt 71 planirano je da bude pokriven sa oba frekvencijska pojasa te je u tu svrhu korišten *dual band* način rada na svim pristupnim točkama osim na jednoj na katu. Pri konfiguraciji kanala za 2.4 GHz pojas, pažnja je usmjerena da pristupne točke sa istim kanalima budu što dalje, također da dvije pristupne točke na istim kanalima na dvije etaže ne budu jedna ispod druge. Zbog velikog broja pristupnih točaka u okolini, razina snage signala je smanjena a povećan je broj pristupnih točaka koje su odgovarajuće razmještene. Konfiguracija kanala u 5 GHz području zbog velikog broja ponuđenih kanala je poprilično jednostavna, pri čemu je se nastojalo iskoristi sve ponuđene kanale a ne ponavljati korištene.

Širina kanala u 2.4 GHz pojasu je 20 MHz bez ikakvih spajanja kanala, što je jedino moguće u mrežama velike gustoće. Za 5 GHz pojas je, zbog dostupnog većeg broja kanala koji se mogu iskoristiti, korišteno spajanje kanala, pri čemu su spojena dva kanala i dobiven kanal širine 40 MHz.

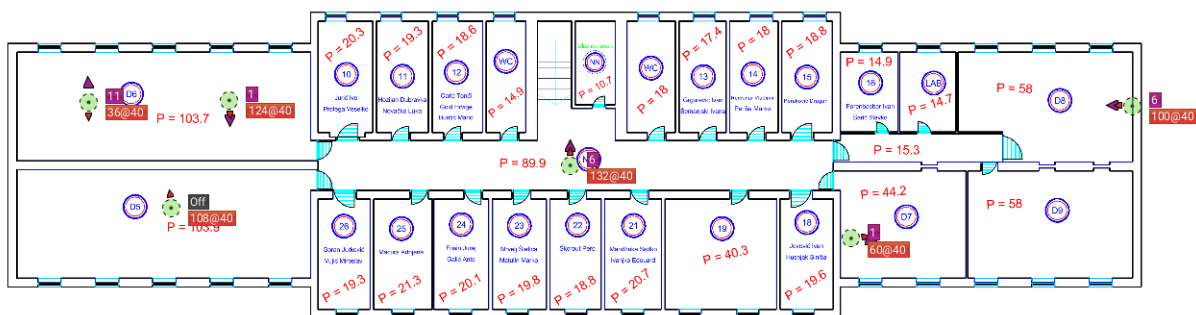
Planirana konfiguracija u objektu 71 prikazana je slikama 70, 71, 72.



Slika 70 Konfiguracija kanala u podrumu.



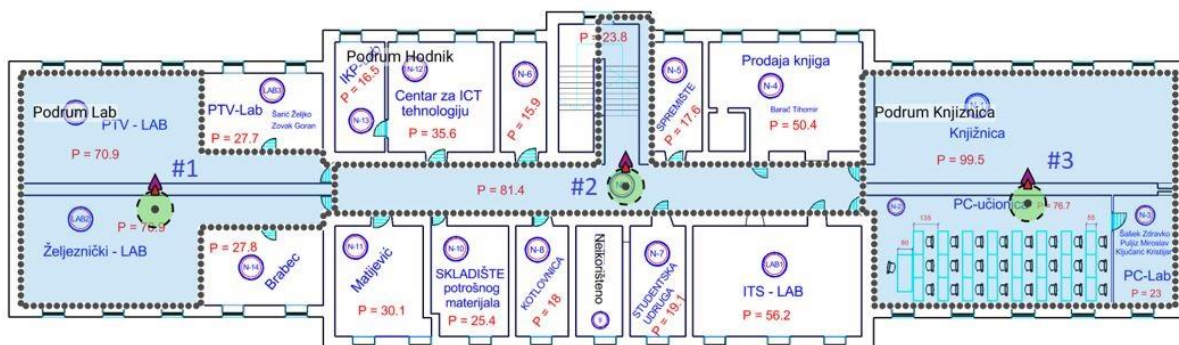
Slika 71 Konfiguracija kanala u prizemlju.



Slika 72 Konfiguracija kanala na katu.













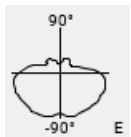
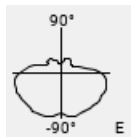
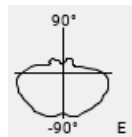
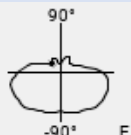
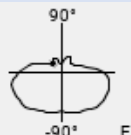
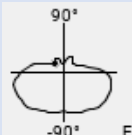
6.4.4. Konfiguracija antena pristupnih točaka

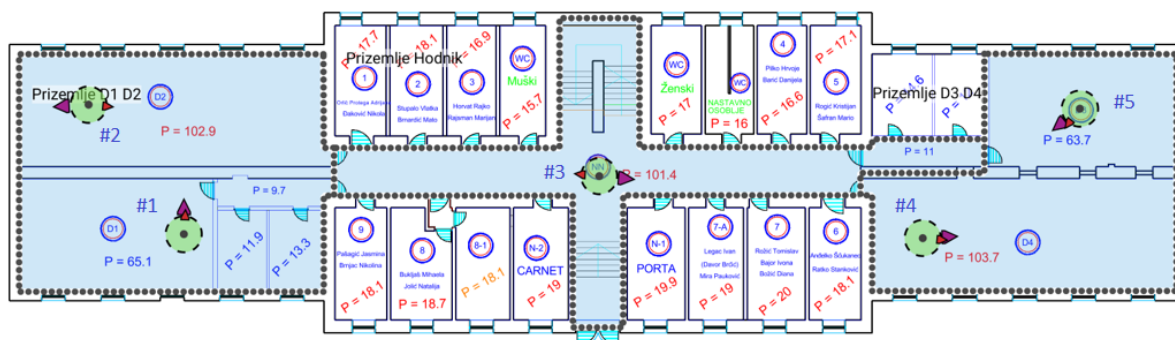
Sve pristupne točke su postavljene na strop pojedinih etaža. Antene su konfigurirane prema karakteristikama prostora i u odnosu na položaj drugih postavljenih pristupnih točaka. Važno je napomenuti da su svugdje korištene iste vrste antena, odnosno antene odabranih pristupnih točaka. Razine snage signala u 2.4 GHz pojasu obično imaju minimalne vrijednosti, dok su nešto više vrijednosti postavljene u 5 GHz pojasu, zbog toga što radiovalovi na većim frekvencijama slabije propagiraju. Veća snaga signala postavljena je na pristupnim točkama u hodnicima. Predložena konfiguracija antena po katovima je prikazana slikama 73, 74, 75 te pripadajućim tablicama 8, 9, 10.



Slika 73 Prikaz pristupnih točaka u podrumu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.

Tablica 8 Konfiguracija pristupnih točaka u podrumu.

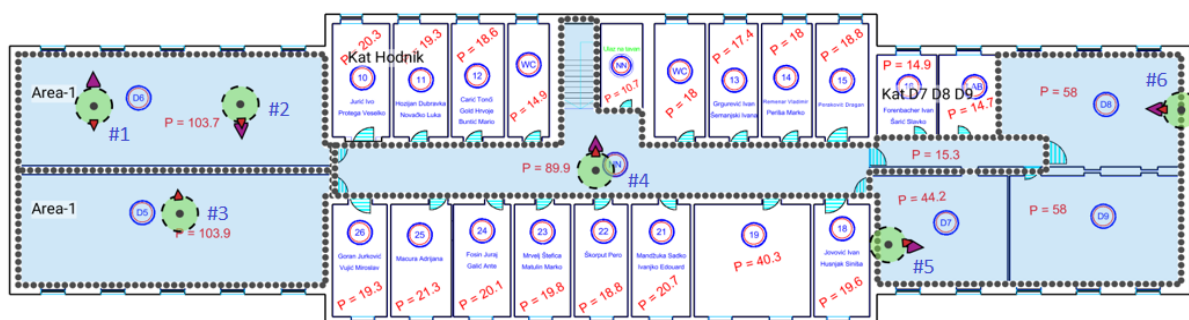
AP #		#1	#2	#3
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.5
Kanal (2.4 GHz)		6	11	1
Kanal (5 GHz @ 40 MHz)		100	44	132
Razina snage odašiljanja na 2.4 GHz (mW)		1	5	7
Razina snage odašiljanja na 5 GHz (mW)		7	15	20
Prikaz zračenja antene na 2.4 GHz	Vertikalna ravnina			
	Horizontalna ravnina			
Prikaz zračenja antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina			
	Horizontalna ravnina			
Usmjerenje antene u odnosu na vertikalnu os – 2.4 GHz				
Usmjerenje antene po vertikalnoj osi – 5 GHz				



Slika 74 Prikaz pristupnih točaka u prizemlju te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.

Tablica 9 Konfiguracija pristupnih točaka u prizemlju.

AP #		#1	#2	#3	#4	#5
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Kanal (2.4 GHz)		11	6	1	6	11
Kanal (5 GHz @ 40 MHz)		60	44	100	52	108
Razina snage odašiljanja na 2.4 GHz (mW)		1	1	5	1	1
Razina snage odašiljanja na 5 GHz (mW)		3	4	16	35	3
Prikaz zračenja antene na 2.4 GHz	Vertikalna ravnina					
	Horizontalna ravnina					
Prikaz zračenja antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina					
	Horizontalna ravnina					
Usmjerenje antene u odnosu na vertikalnu os – 2.4 GHz						
Usmjerenje antene po vertikalnoj osi – 5 GHz						



Slika 75 Prikaz pristupnih točaka na katu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojasa.

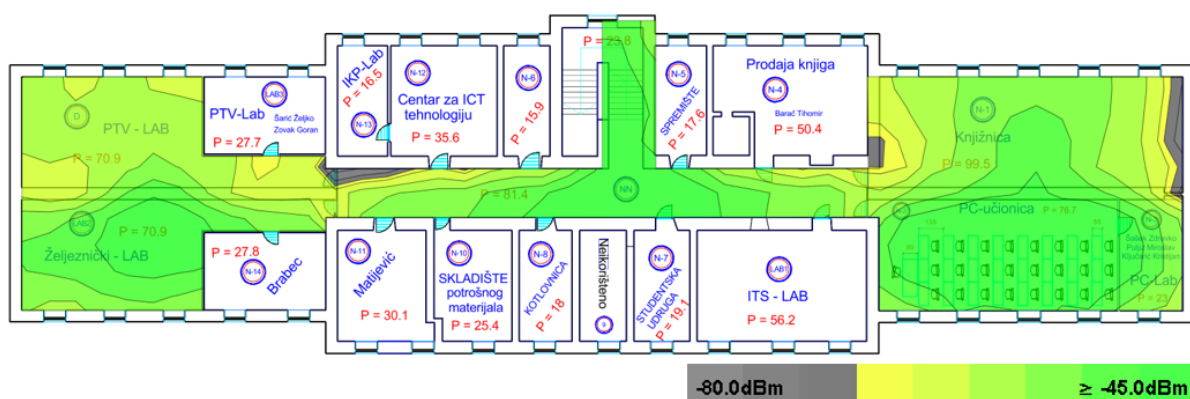
Tablica 10 Konfiguracija pristupnih točaka na katu..

AP #		#1	#2	#3	#4	#5	#6
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.4	3	2.5	2.5
Kanal (2.4 GHz)		11	1	-	6	1	6
Kanal (5 GHz @ 40 MHz)		36	124	108	132	60	100
Razina snage odašiljanja na 2.4 GHz (mW)		1	1	-	2	1	1
Razina snage odašiljanja na 5 GHz (mW)		2	3	4	18	5	4
Prikaz zračenja antene na 2.4 GHz	Vertikalna ravnina			-			
	Horizontalna ravnina			-			
Prikaz zračenja antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina						
	Horizontalna ravnina						
Usmjerenje antene u odnosu na vertikalnu os 2.4 GHz				-			
Usmjerenje antene po vertikalnoj osi – 5 GHz							

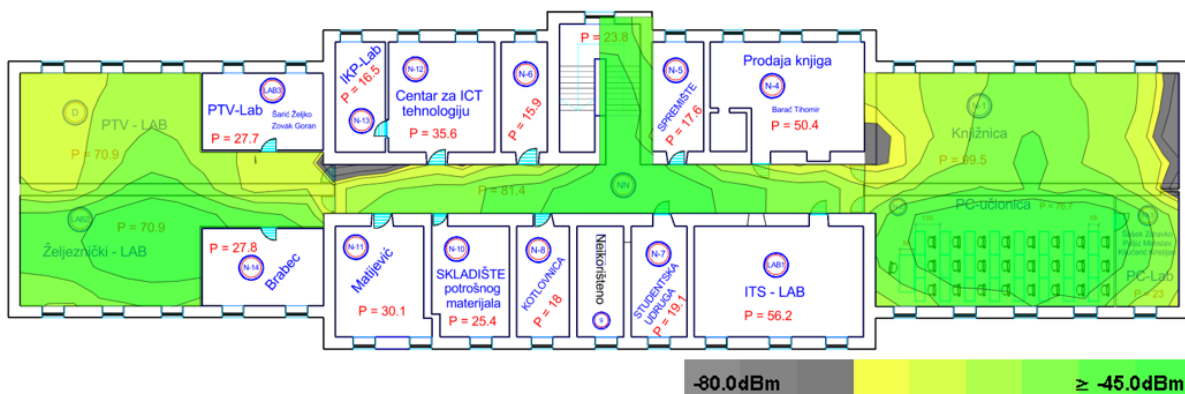
6.4.5. Analiza kvalitete mreže u podrumu

Razina snage signala

Razina snage signala je iznad minimalne granice na svim područjima osim na nekim rubnim dijelovima u 2.4 GHz pojasu (slika 76) i u 5 GHz pojasu (slika 77). Zbog uštede korišten je minimalan broj pristupnih točaka potreban kako bi se postigli zadovoljavajuće vrijednosti različitih parametara. Zbog toga je ostavljeno da na tim rubovima ostane niža razina snage signala nego što je zahtijevano, budući da su to rubna dijelova, te jako male površine na kojima se studenti ne nalaze. U svakom slučaju, vrijednost razine snage signala ne ide ispod -70 dB.



Slika 76 Pokrivenost podruma 2.4 GHz signalom.

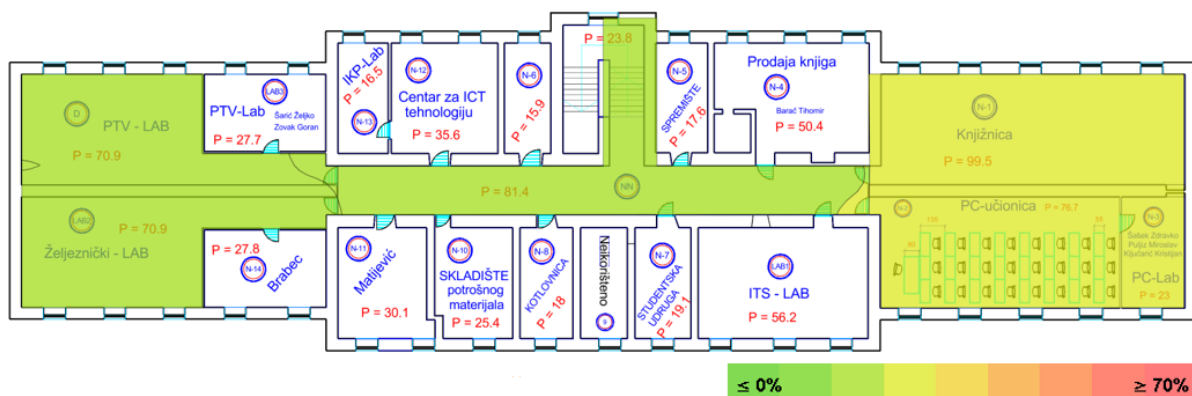


Slika 77 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.

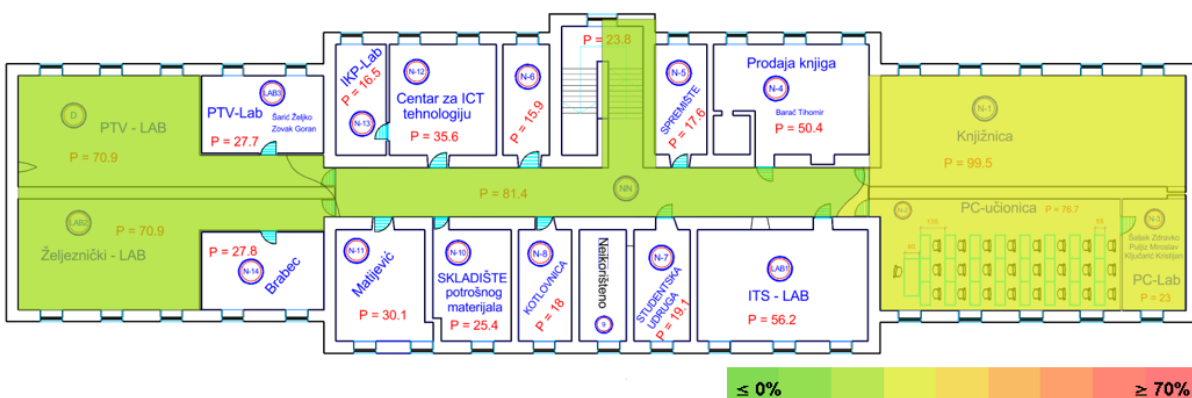
Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja u 2.4 GHz pojasu je jako niska te iznosi 11% na većini površine, dok se na manjem dijelu ona penje do 22% (slika 78).

Iskorištenost zračnog sučelja u 5 GHz pojasu varira od 13% do 20% (slika 79).



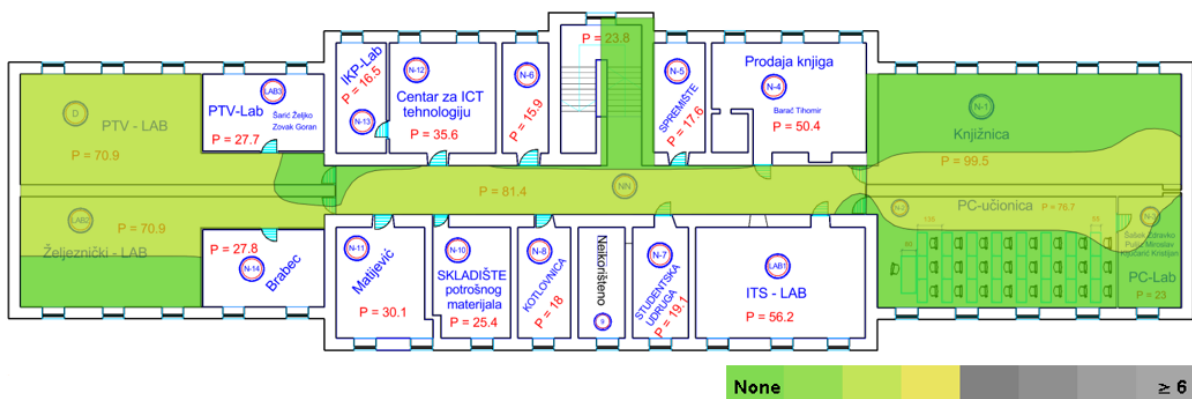
Slika 78 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 2.4 GHz pojasu.



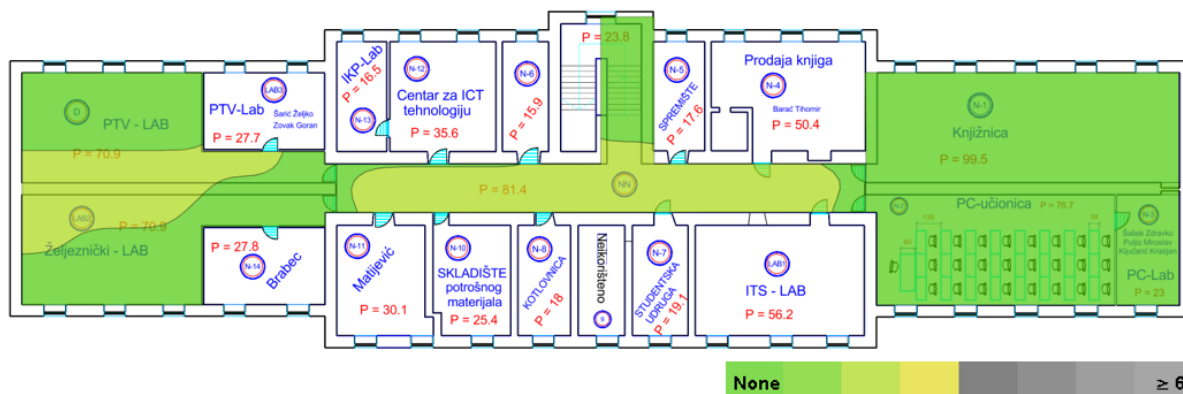
Slika 79 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.

Preklapanje kanala

U 2.4 GHz pojasu preklapanje postoji, no ono je u granicama dopuštenog i ne javlja se više od dva preklapanje istih kanala (slika 80). U 5 GHz pojasu ono također postoji, iako na manjem području, te također se ne pojavljuje više od dva preklapanje po istom kanalu (slika 81).



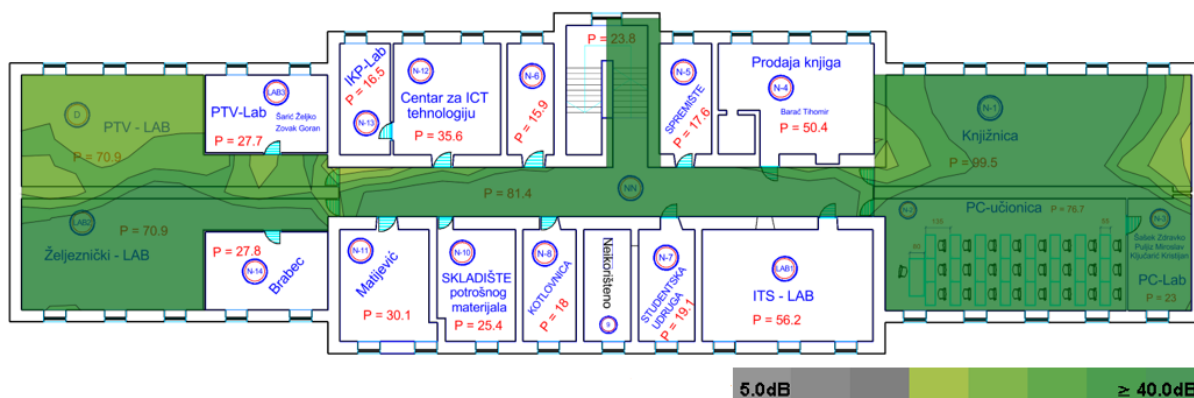
Slika 80 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u podrumu.



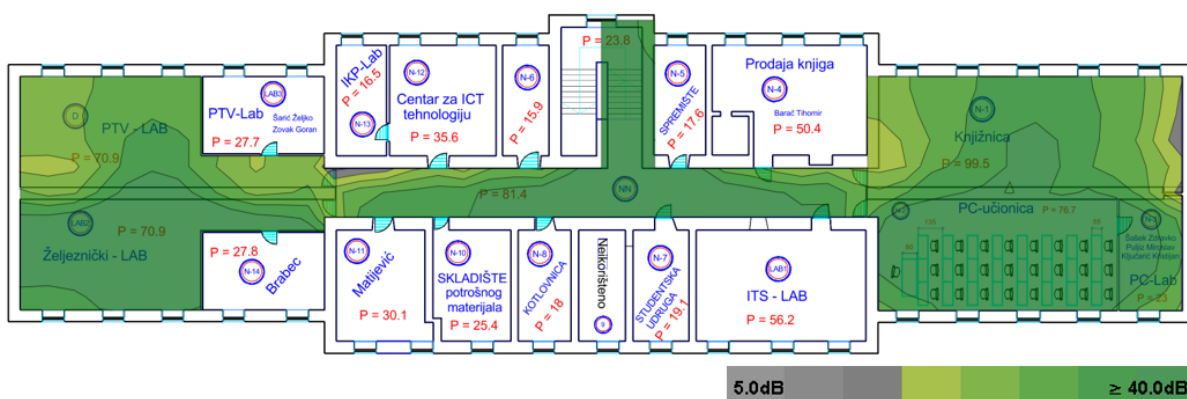
Slika 81 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.

Odnos signal – šum

Odnos signal – šum ima zadovoljavajuće vrijednosti na svim dijelovima u 2.4 GHz pojasu (slika 82). U 5 GHz pojasu postoje neka rubna područja gdje vrijednosti omjera signal – šum ne postižu one zahtijevane, što se poklapa sa dijelovima gdje je također razina snage signala bila ispod zahtijevane (slika 83).



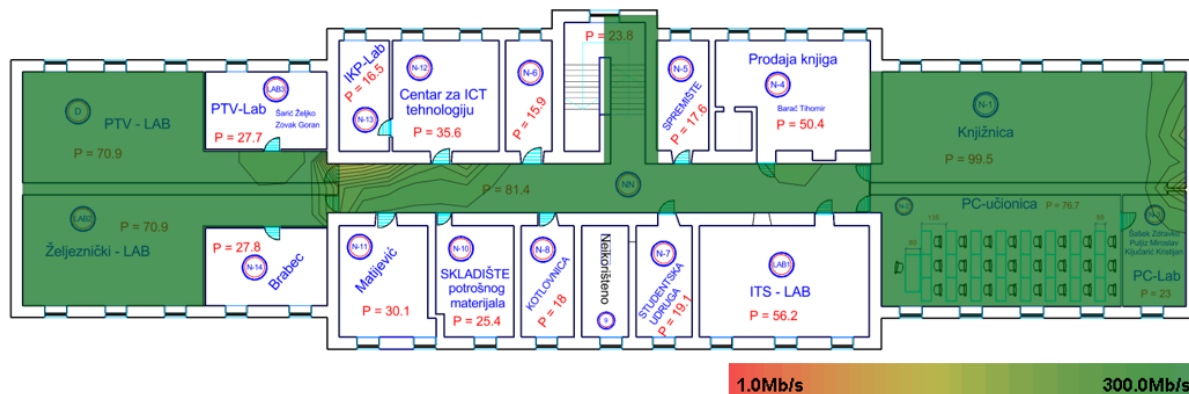
Slika 82 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u podrumu.



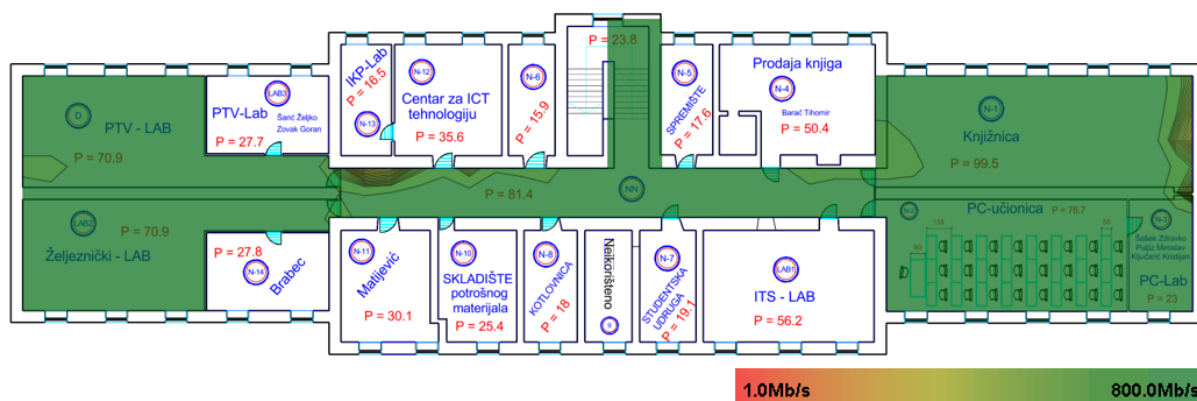
Slika 83 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.

Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u 2.4 GHz pojasu dostiže do 300 Mbit/s (slika 84) dok u 5 GHz pojasu dostiže i do 800 Mbit/s (slika 85).



Slika 84 Brzina prijenosa u podrumu u 2.4 GHz pojasu.

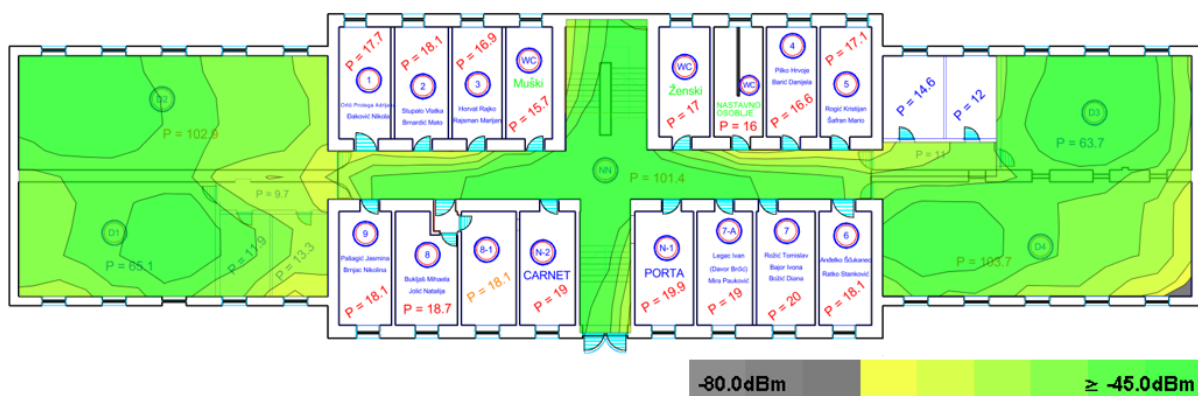


Slika 85 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.

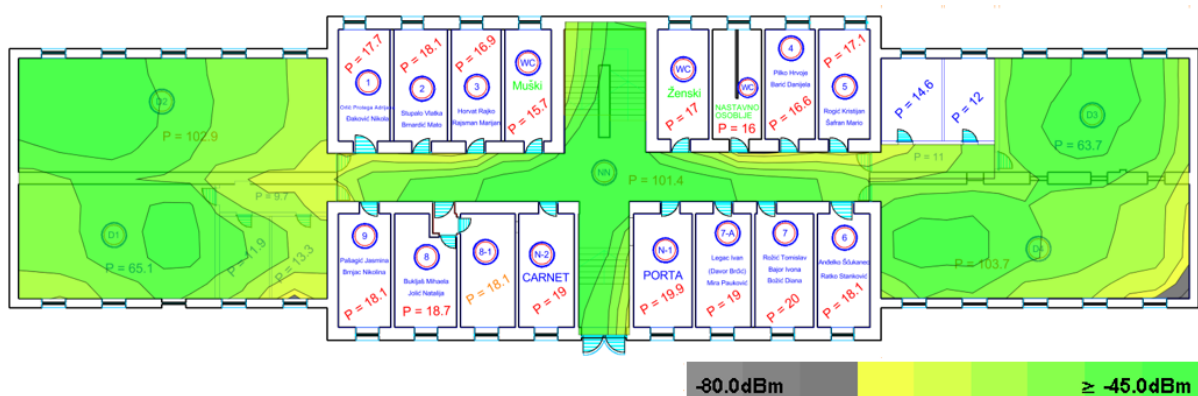
6.4.6. Analiza kvalitete mreže u prizemlju

Razina snage signala

Razina snage signala je u svim dijelovima u prizemlju objekta i u oba frekvencijska pojasu iznad zadatih minimalnih vrijednosti (slika 86 i slika 87).



Slika 86 Pokrivenost prizemlja 2.4 GHz signalom.

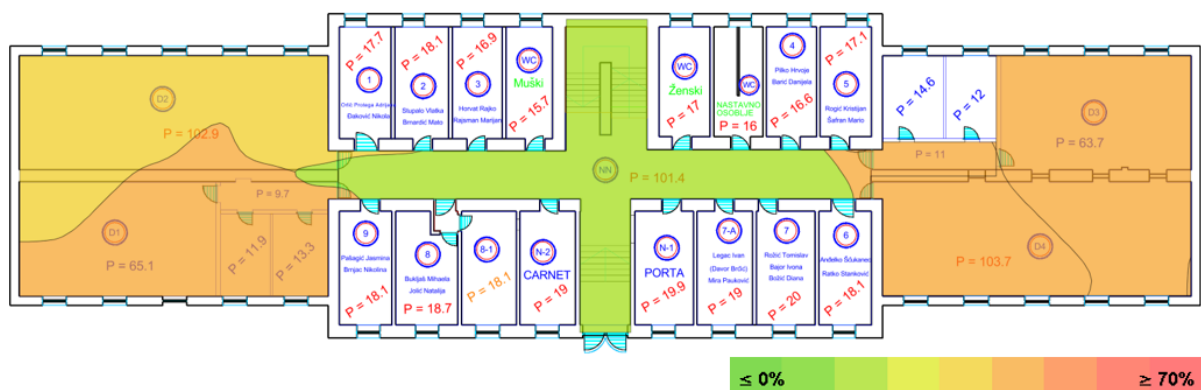


Slika 87 Pokrivenost prizemlja 5 GHz signalom.

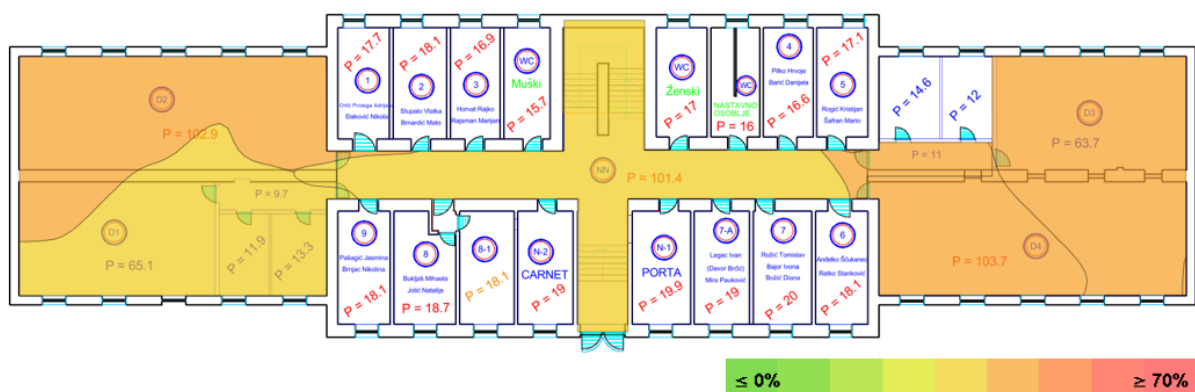
Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 2.4 GHz pojasu nešto je veća nego u podrumu, no i dalje je unutar zadatih vrijednosti. Na hodniku je najniža vrijednost i iznosi 17%, dok je po dvoranama nešto veća te ide do 47% (slika 88).

U 5 GHz pojasu je slično stanje te iskorištenost varira između 30% i 45% (slika 89).



Slika 88 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.

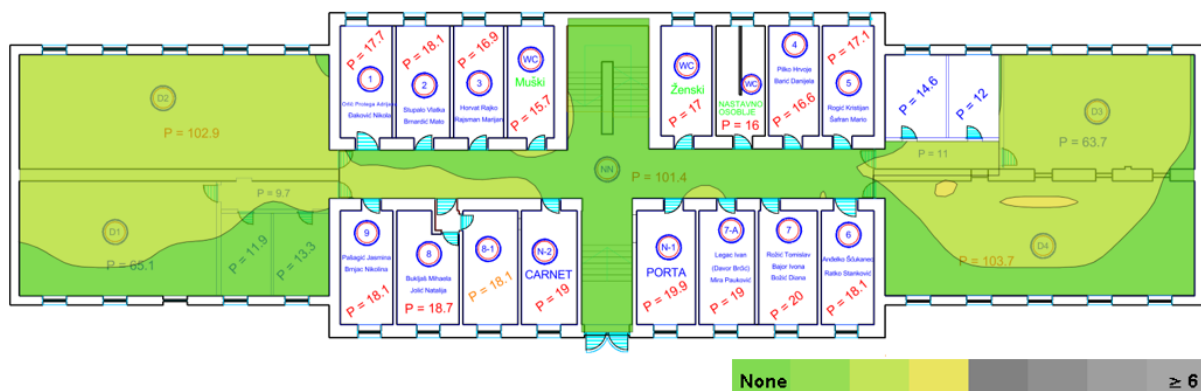


Slika 89 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.

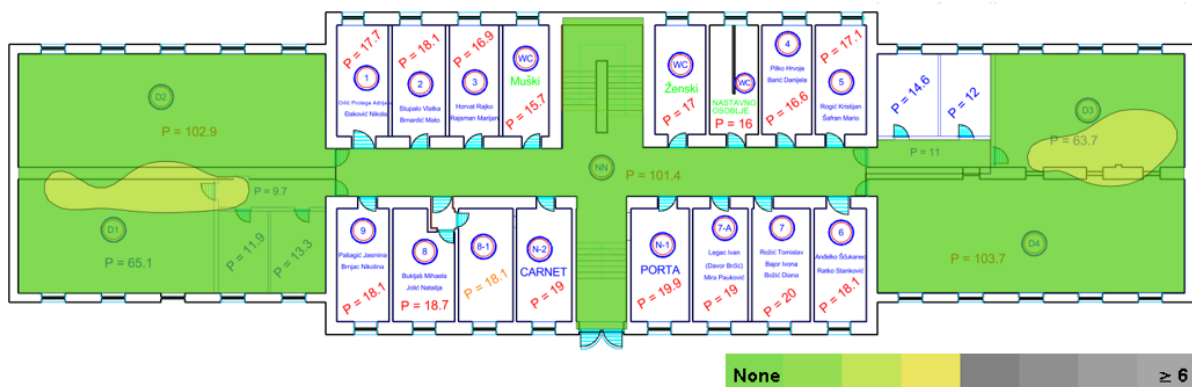
Preklapanje kanala

U prizemlju u 2.4 GHz pojasu se ne javlja više od dva preklapajuća kanala (slika 90).

U 5 GHz pojasu u prizemlju uglavnom nema preklapanja (slika 91).



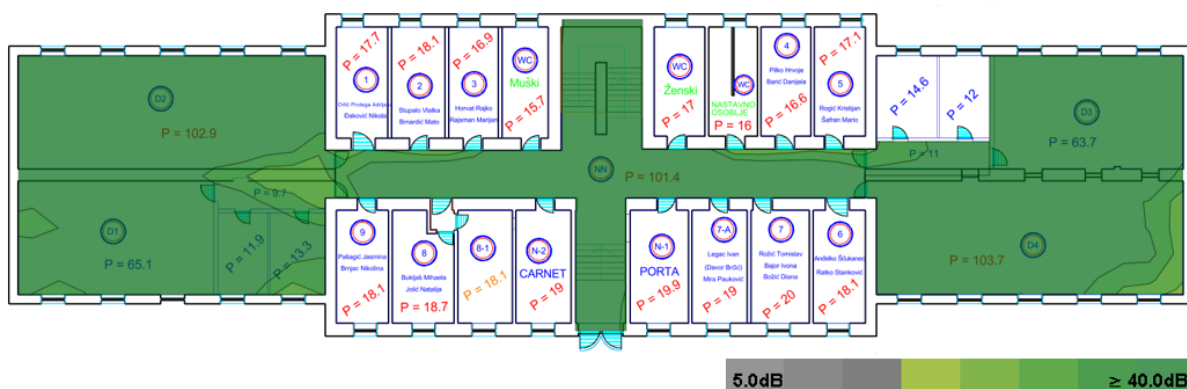
Slika 90 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.



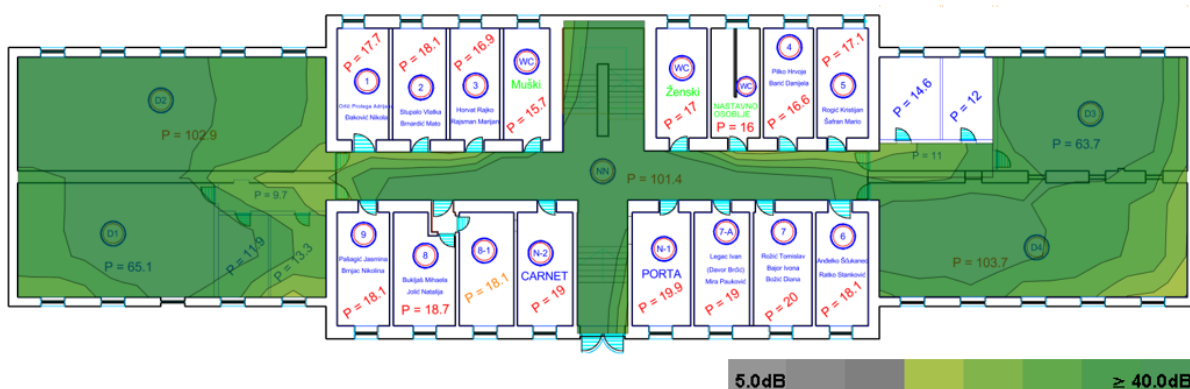
Slika 91 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.

Odnos signal – šum

Odnos signal – šum u svim dijelovima u oba frekvencijska pojasa postiže jako visoke vrijednosti (slika 92 i slika 93).



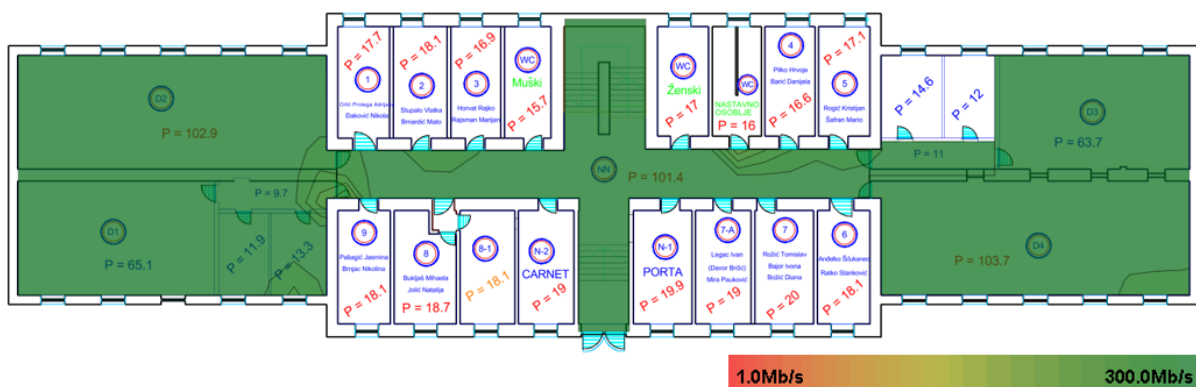
Slika 92 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojas u prizemlju.



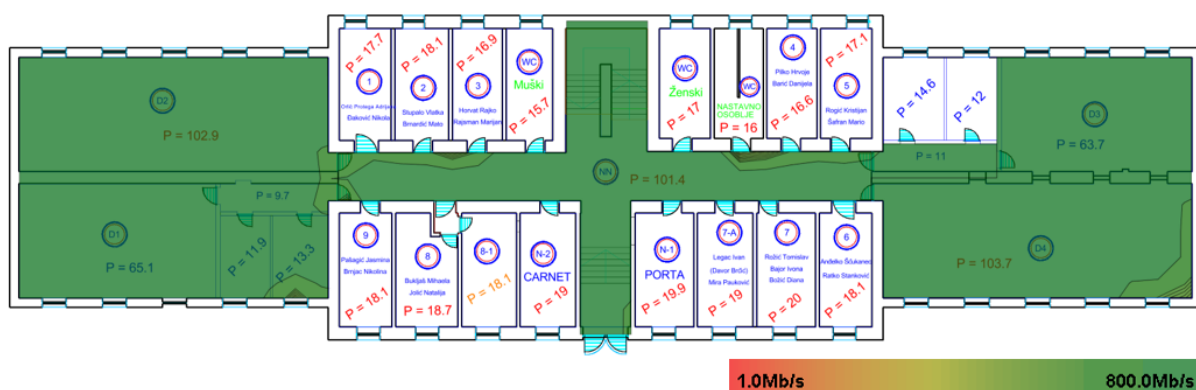
Slika 93 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.

Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u 2.4 GHz pojasu dostiže do 300 Mbit/s (slika 94) dok u 5 GHz pojasu dostiže i do 800 Mbit/s (slika 95).



Slika 94 Brzina prijenosa u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.



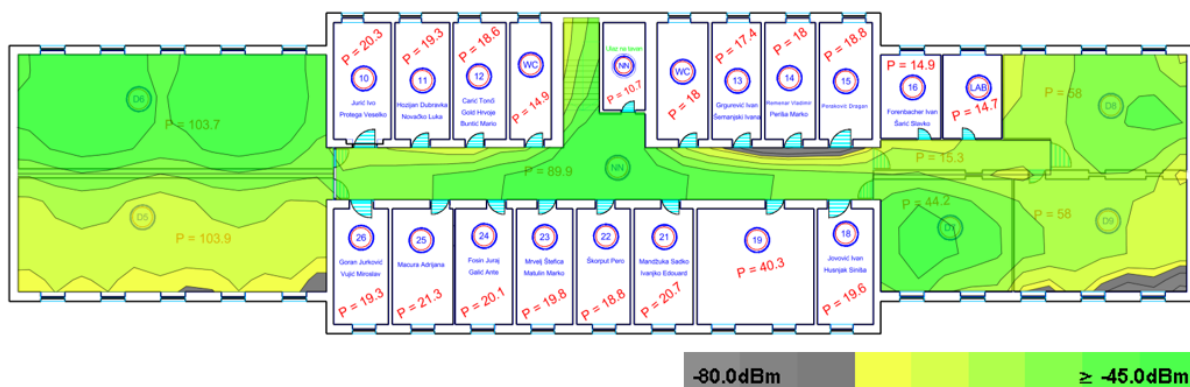
Slika 95 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.

6.4.7. Analiza mreže na katu

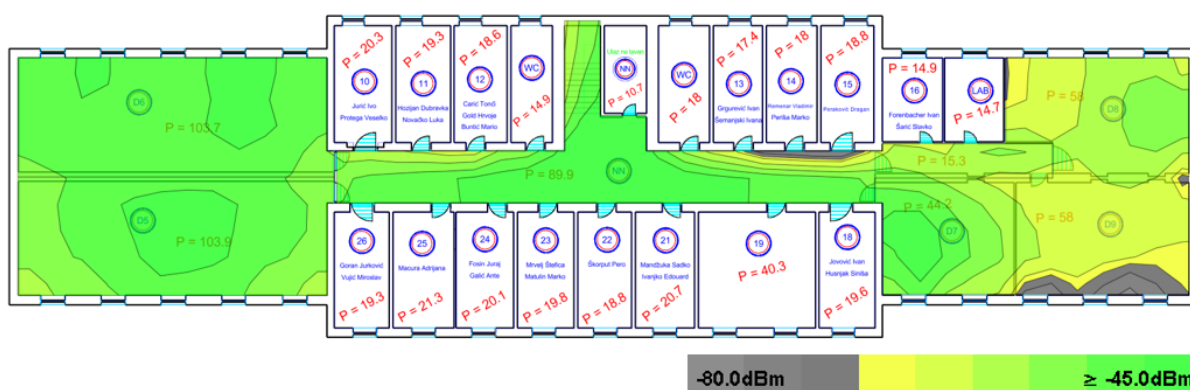
Razina snage signala

U 2.4 GHz pojasu razina snage signala nešto je lošija, no i dalje prihvatljiva, u dvorani 5 uzrok prikazanom stanju je izostanak odašiljanja signala pristupne točke u 2.4 GHz pojasu. Također, jedan rubni dio u dvorani 8 nije pokriven zahtijevanom razinom snage signala (slika 96). Povećanjem razine snage signala ili dodavanjem još jedne pristupne točke iskorištenost zračnog sučelja bi rasla tako da su nešto niže razine snage signala bolje rješenje.

U 5 GHz pojasu nezadovoljavajuća razina signala se samo javlja u jednom rubnom dijelu također u dvorani 8 (slika 97). Iz istih razloga kao i u 2.4 GHz pojasu nije dodavana pristupna točka niti pojačana razina snage signala na drugim pristupnim točkama.



Slika 96 Pokrivenost kata 2.4 GHz signalom.

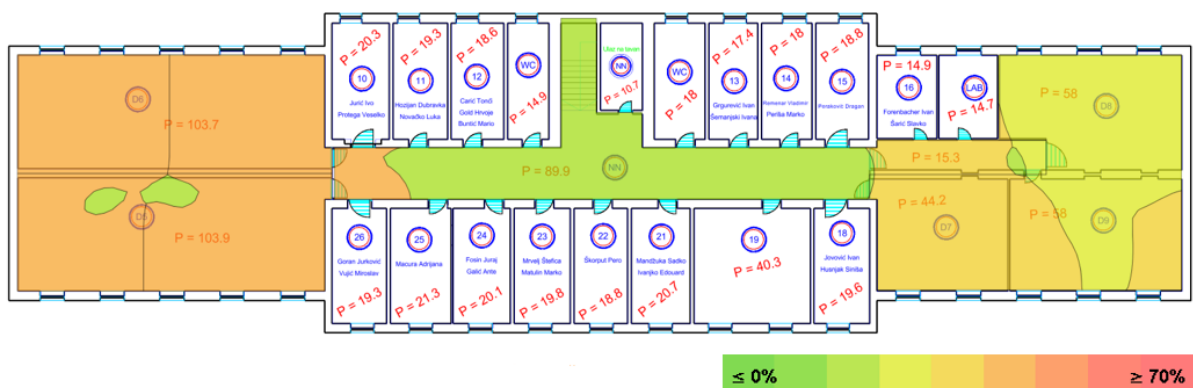


Slika 97 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.

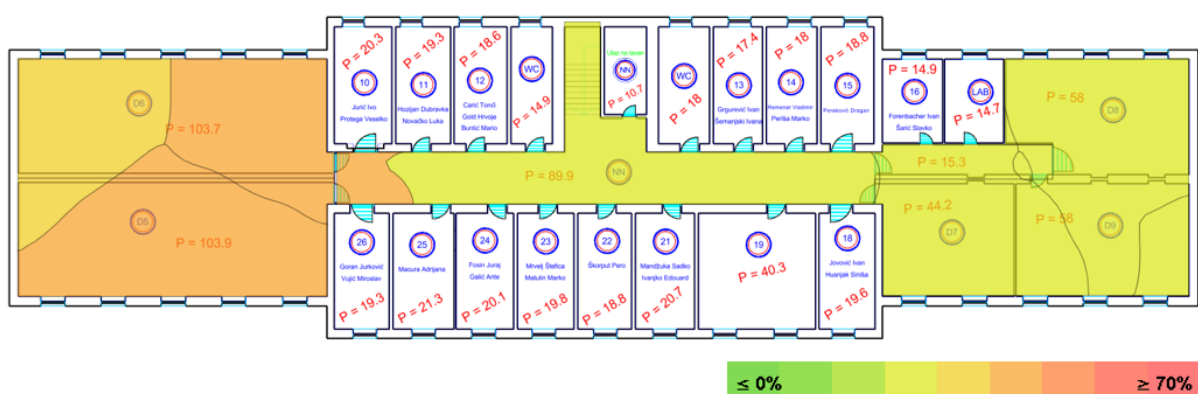
Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja u 2.4 GHz pojasu varira od dijela objekta, u dvoranama 5 i 6, zbog velikog očekivanog broja korisnika, iskorištenost je najveća i ide do 45%. U hodniku je 14%, zbog malog broja očekivanog korisnika, dok u dvoranama 7, 8 i 9 ona varira od 20% do 30% (slika 98).

U 5 GHz pojasu nešto bolja, na većini površine objekta ona iznosi oko 30%, dok na manjem dijelu ide do 40% (slika 99).



Slika 98 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 2.4 GHz pojasu.



Slika 99 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.

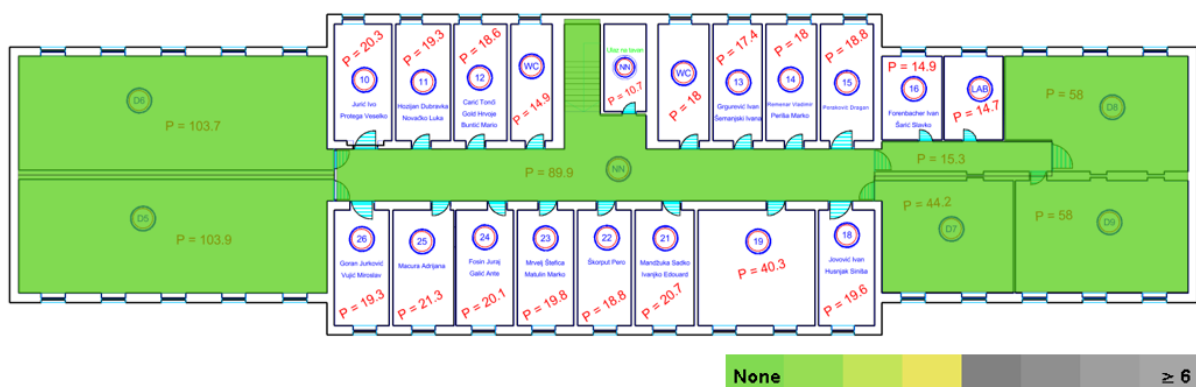
Preklapanje kanala

Na katu preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu se javlja na nekim dijelovima, ali se ne pojavljuju više od dva preklapanja (slika 100).

U 5 GHz pojasu na katu preklapanje kanala je nepostojeće (slika 101).



Slika 100 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu na katu.

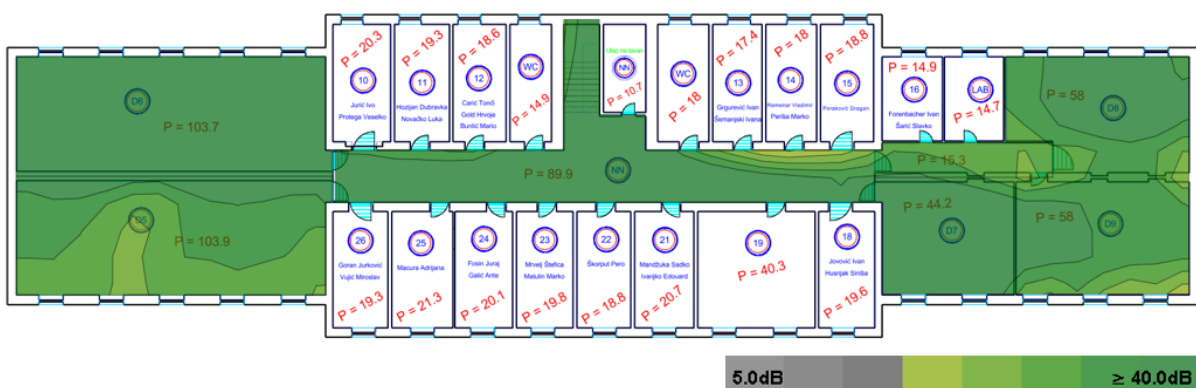


Slika 101 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.

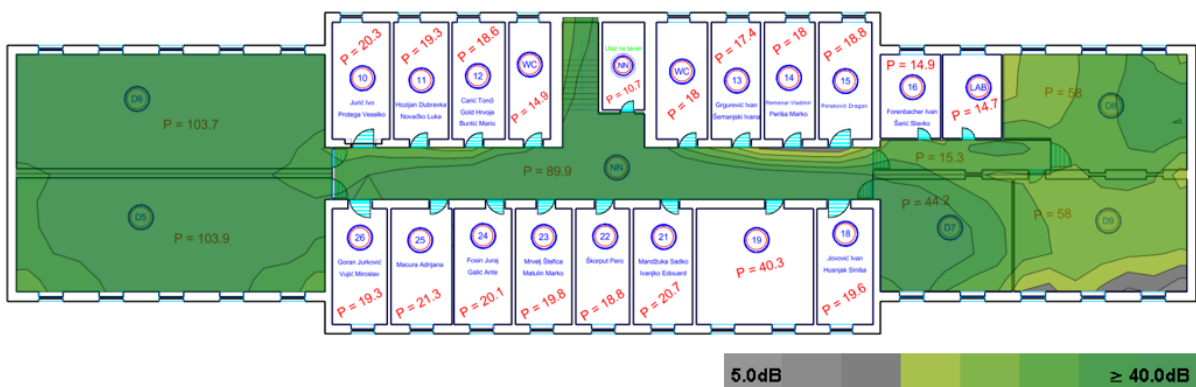
Odnos signal – šum

U 2.4 GHz frekvencijskom pojasu odnos signal – šum postiže uglavnom visoke vrijednosti (slika 102).

U 5 GHz pojasu odnos signal – šum ne postiže zahtijevane vrijednosti na rubnim dijelovima dvorane 8, što je u skladu sa nedovoljnom razinom snage signala na tom području (slika 103).



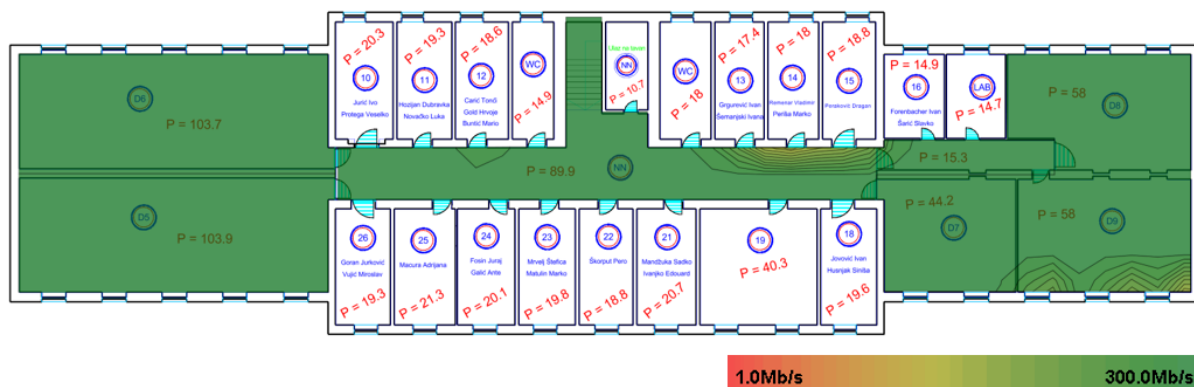
Slika 102 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu na katu.



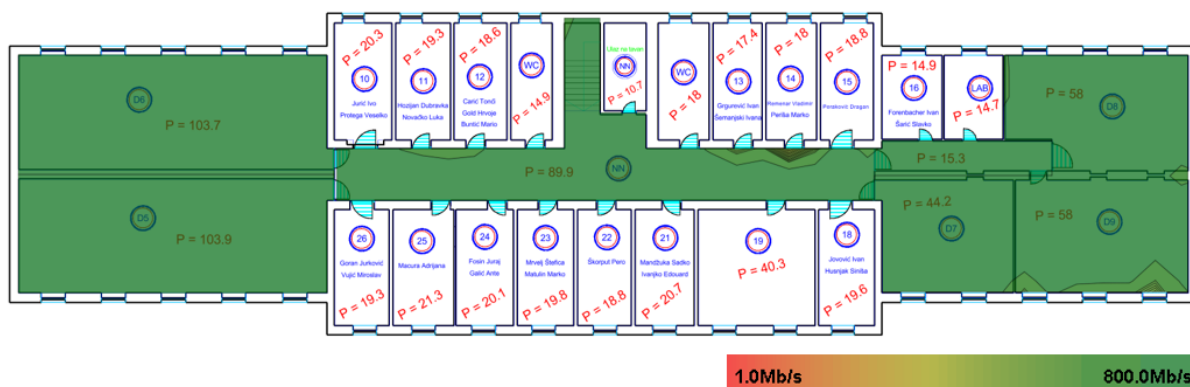
Slika 103 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu na katu.

Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u 2.4 GHz pojasu dostiže do 300 Mbit/s (slika 104) dok u 5 GHz pojasu dostiže i do 800 Mbit/s (slika 105).



Slika 104 Brzina prijenosa na katu u 2.4 GHz pojasu.



Slika 105 Brzina prijenosa na katu u 5 GHz pojasu.

6.5. Prediktivni model unaprjeđenja mreže – Cisco 3802i

6.5.1. Distribucija broja potrebnih pristupnih točaka

Za drugi prijedlog prediktivnog plana WLAN mreže korištene su pristupne točke najveće svjetske mrežne tvrtke, *Cisco Systems*. Odabran je model 3802i (slika 106), namijenjen za zatvorene prostore sa velikom gustoćom korisnika. Odabrani model je konkurent *Ruckusovu ZoneFlex R710* u kategoriji skupljih pristupnih točaka za prostore na kojima se očekuje velik broj klijenata.

Cisco 3802i podržava 802.11ac Wave 2 standard pri čemu nudi teoretske brzine prijenosa do 5.2 Gbit/s (2×2.6 Gbit/s) [38]. Koristi MU-MIMO 4x4:3 tehniku prijenosa. Maloprodajna cijena za ovu pristupnu točku je 1695.00\$ [37].



Slika 106 *Pristupna točka korištena za drugu verziju prediktivnog modela mreže Objekta 71 - Cisco 3802i.*

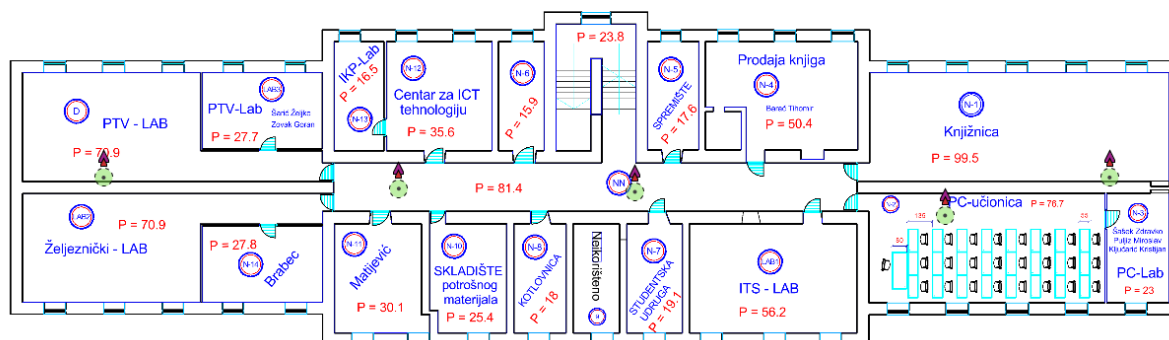
Preuzeto od [38].

Za ovaj prediktivni model korišteno je 18 pristupnih točaka kako bi se zadovoljili svi mrežni zahtjevi i zahtjevi kapaciteta. U podrumu su korištene četiri pristupne točke te na prizemlju i katu po sedam.

6.5.2. Raspored pristupnih točaka

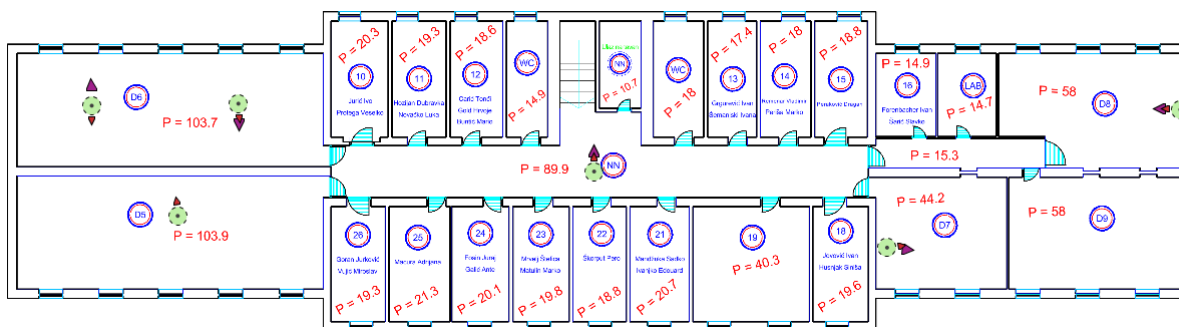
Pristupne točke su postavljane na područjima velike gustoće klijenata, odnosno po dvoranama za predavanja. Osim toga potrebno je bilo osigurati *roaming* zbog čega su postavljene pristupne točke i u hodnicima.

U podrumu je smješteno pet pristupnih točaka (slika 107), koliko je potrebno da se pokrije cijeli prostor podruma, budući da su podešene da odašilju nižom snagom signala. Kako se ne očekuje velik broj korisnika, za PTV i željeznički laboratorij dovoljna je jedna pristupna točka, koja to područje pokriva sa dovoljnom razinom snage signala. Za pokriće signalom podruma bile se potrebne dvije pristupne točke. Za knjižnicu i računalni kabinet su korištene dvije pristupne točke, budući da se očekuje nešto veći broj klijenata. Kako bi se održao *roaming* u hodniku, u njemu su smještene dvije pristupne točke. Sve pristupne točke emitiraju u oba frekvencijska pojasa.



Za prizemlje je korišteno sedam pristupnih točaka (slika 108). Za područje dvorane 1 i 2 korištene su tri pristupne točke sa *dual band* načinom rada, kako bi se postigla prihvatljiva iskorištenost zračnog sučelja. Isti je slučaj na području dvorana 3 i 4, gdje su također smještene tri pristupne točke. U hodniku se nalazi jedna pristupna točka koja osigurava pokrivenost cijelog područja hodnika te samim tim *roaming*.

Na katu je smješteno sedam pristupnih točaka (slika 109). Na području dvorana 5 i 6, gdje se očekuje najveći broj korisnika nalaze se četiri pristupne točke, od pri čemu tri rade u oba frekvencijska pojasa dok jedna radi samo u 5 GHz pojasu. Na području dvorana 7, 8, 9 nalaze se dvije pristupne točke. U hodniku se nalaze pristupna točka koja osigurava *roaming*.

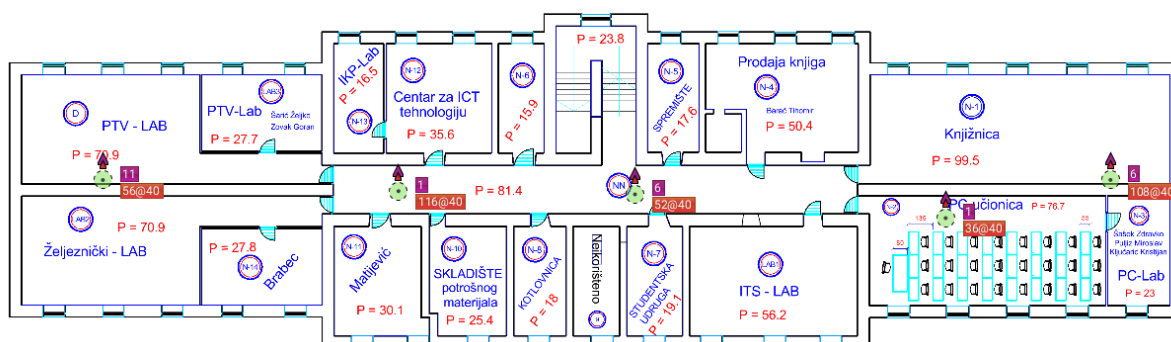


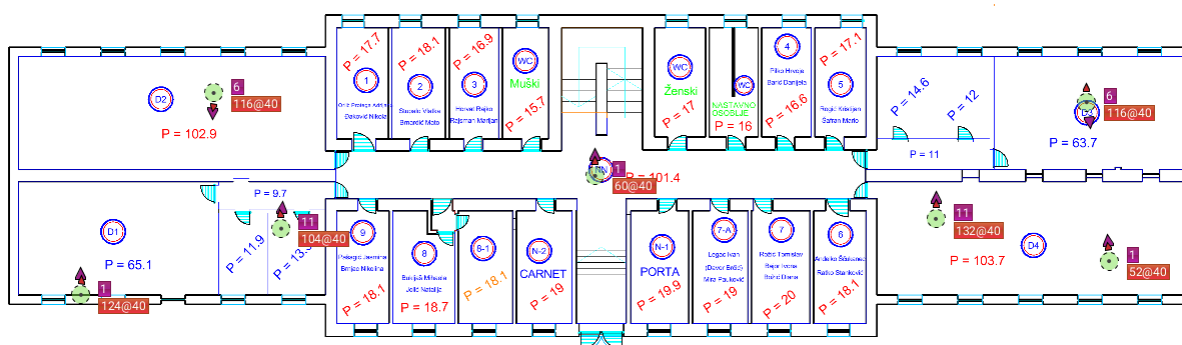
6.5.3. Konfiguracija kanala pristupnih točaka

Pokriće signalom na oba frekvencijska pojasa je osigurano u cijelom objektu. Sve pristupne točke ne rade na oba frekvencijska pojasa, pojedine pristupne točke odašilju samo signal u 5 GHz pojasu, obično tamo gdje je potrebno postaviti više pristupnih točaka zbog velike gustoće korisnika, a gdje je moguće isključiti 2.4 GHz pojas zbog preklapanja kanala, a da pri tome iskorištenost zračnog sučelja bude prihvatljiva. Pristupne točke sa istim kanalima na 2.4 GHz nastojano je razmaknuti što dalje te je korištena niska razina snage signala. U 5 GHz pojasu nastojalo je se iskoristiti sve kanala a ne ponavljati već iskorištene.

U 2.4 GHz pojasu korištena je širina kanala od 20 MHz, što je, s obzirom na broj pristupnih točaka, jedino prihvatljivo. S druge strane, u 5 GHz pojasu korištena je širina kanala od 40 MHz, koja se inače ne preporučuje u mrežama velike gustoće. U ovome slučaju uzeta je širina kanala od 40 MHz budući da nije bilo negativnih posljedica ove odluke.

Planirana konfiguracija kanala u objektu 71 prikazana je slikama 110, 111, 112.





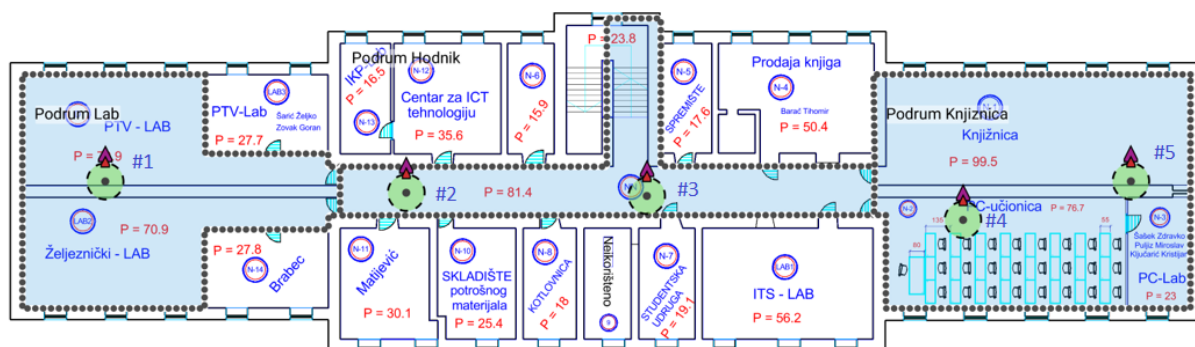
Slika 111 Konfiguracija kanala u prizemlju.



Slika 112 Konfiguracija kanala na katu.

6.5.4. Konfiguracija antena pristupnih točaka

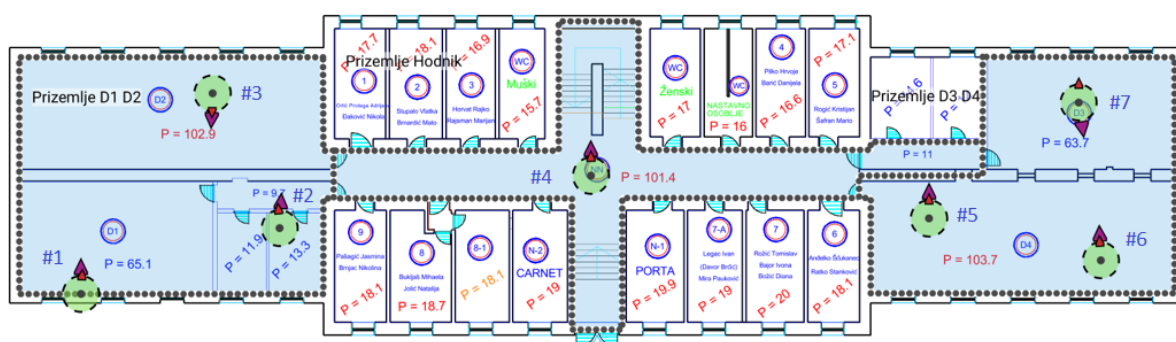
Pristupne točke postavljene su na stropove i zidove pojedinih etaža. Za sve pristupne točke korištene su iste vrste antena koje su konfigurirane ovisno o karakteristikama prostorija i ovisno o pojedinoj situaciji. U 2.4 GHz pojasu su korištene su minimalne razine snage signala dok su samo nešto veće postavljene u 5 GHz području. Konfiguracija pojedinih antena po etažama prikazana je tablicama 11, 12, 13 te pripadajućim slikama 113, 114, 115.



Slika 113 Prikaz pristupnih točaka u podrumu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.

Tablica 11 Konfiguracija pristupnih točaka u podrumu.

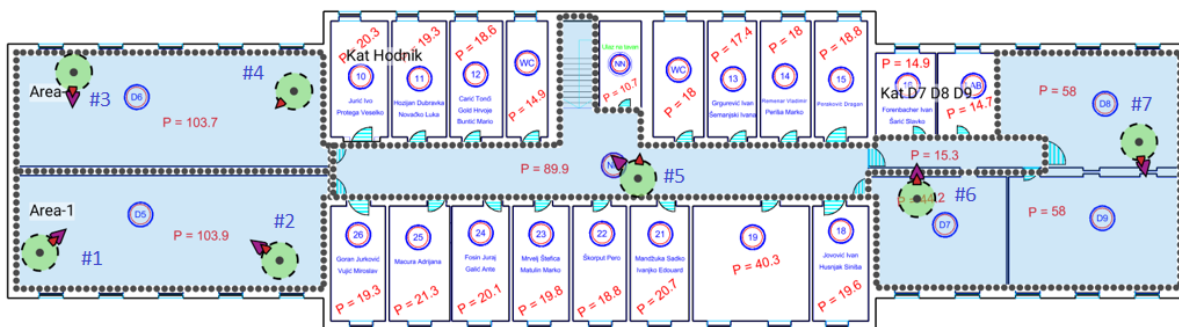
AP #		#1	#2	#3	#4	#5
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Kanal (2.4 GHz)		11	1	6	1	6
Kanal (5 GHz @ 40 MHz)		56	116	52	36	108
Razina snage odašiljanja na 2.4 GHz (mW)		3	1	2	4	1
Razina snage odašiljanja na 5 GHz (mW)		10	10	10	10	10
Prikaz zračenja antene na 2.4 GHz	Vertikalna ravnina					
	Horizontalna ravnina					
Prikaz zračenja antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina					
	Horizontalna ravnina					
Usmjerenje antene u odnosu na vertikalnu os – 2.4 GHz						
Usmjerenje antene po vertikalnoj osi – 5 GHz						



Slika 114 Prikaz pristupnih točaka u prizemlju te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.

Tablica 12 Konfiguracija pristupnih točaka u prizemlju.

AP #		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Kanal (2.4 GHz)		1	11	6	1	11	1	6
Kanal (5 GHz @ 40 MHz)		124	104	116	60	132	52	116
Razina snage odašiljanja na 2.4 GHz (mW)		1	1	2	6	1	1	1
Razina snage odašiljanja na 5 GHz (mW)		10	5	5	10	5	4	4
Prikaz zračenja antene na 2.4 GHz	Vertikalna ravnina							
	Horizontal na ravnina							
Prikaz zračenja antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina							
	Horizontal na ravnina							
Usmjerenje antene u odnosu na vertikalnu os – 2.4 GHz								
Usmjerenje antene po vertikalnoj osi – 5 GHz								



Slika 115 Prikaz pristupnih točaka na katu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.

Tablica 13 Konfiguracija pristupnih točaka na katu.

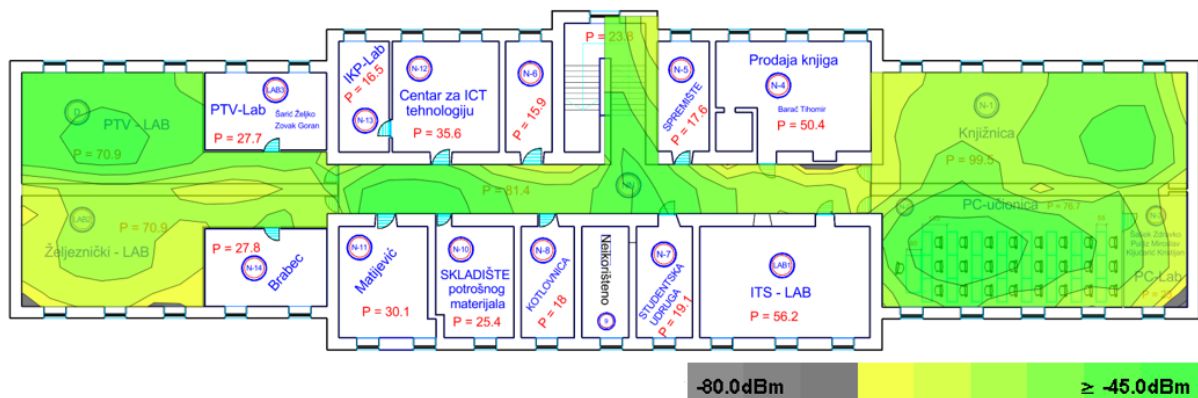
AP #		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5
Kanal (2.4 GHz)		6	1	11	-	11	6	1
Kanal (5 GHz @ 40 MHz)		132	108	44	60	36	124	100
Razina snage odašiljanja na 2.4 GHz (mW)		1	1	1	-	1	2	1
Razina snage odašiljanja na 5 GHz (mW)		4	4	5	7	12	8	15
Prikaz zračenja antene na 2.4 GHz	Vertikalna ravnina				-			
	Horizontalna ravnina							
Prikaz zračenja antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina							
	Horizontalna ravnina							
Usmjerenje antene u odnosu na vertikalnu os 2.4 GHz					-			
Usmjerenje antene po vertikalnoj osi 5 GHz								

6.5.5. Analiza kvalitete mreže u podrumu

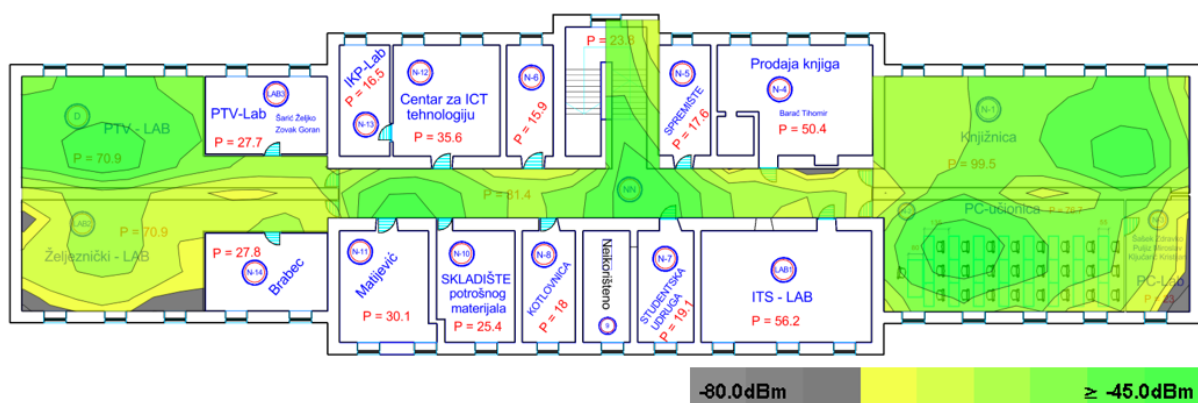
Razina snage signala

Kako bi se područje podruma pokrilo signalom korišteno je pet pristupnih točaka sa manjom snagom odašiljanja. Signal u 2.4 GHz pojasu pokriva sve dijelove podruma, bez sivih područja (slika 116).

U 5 GHz pojasu signal pokriva uglavnom dva bitne dijelove podruma gdje se nalaze studenti (slika 117). Nedostatna razina snage signala je vidljiva na rubnom dijelu željezničkog laboratorija, koji je ostavljen zbog toga što dodatna pristupna točka čini iskorištenost zračnog sučelja većom i stvara nepotrebnu istokanalnu interferenciju, budući da je to samo rubni dio na kojem ne bivaju studenti.



Slika 116 Pokrivenost podruma 2.4 GHz signalom.

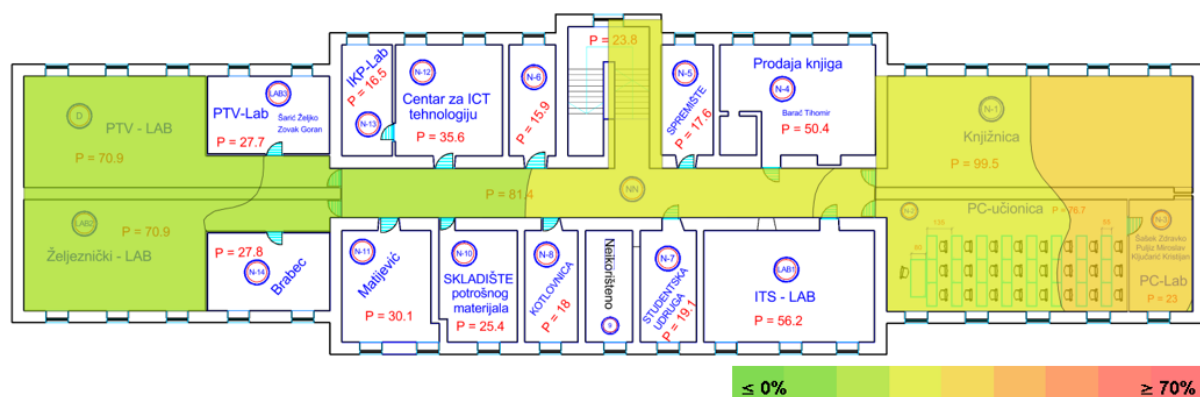


Slika 117 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.

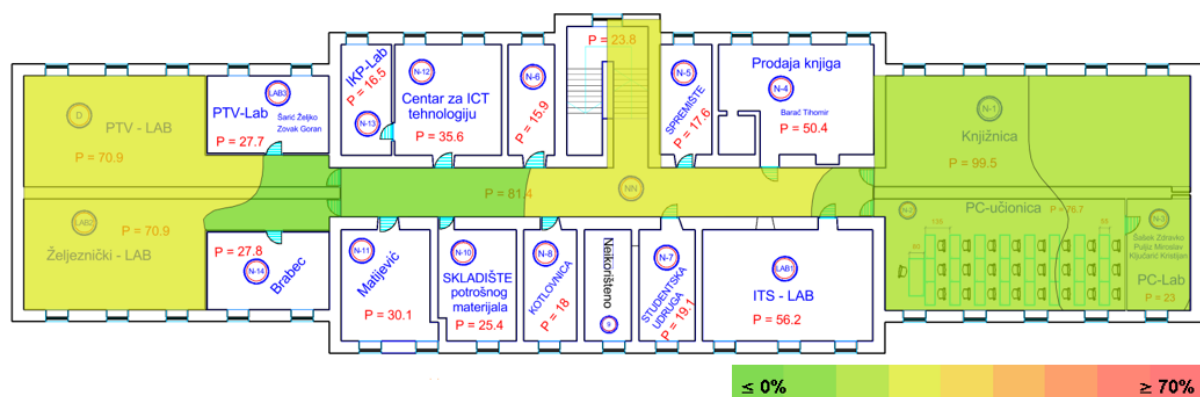
Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja u 2.4 GHz frekvencijskom pojasu varira, na području dva laboratorija ona iznosi oko 10%, u hodniku je nešto veća i iznosi do 20%, dok je na području knjižnice od 20% do 30% (slika 118).

Iskorištenost zračnog sučelja u 5 GHz pojasu nešto je bolja i uglavnom varira od 10% do 25% (slika 119).



Slika 118 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 2.4 GHz pojasu.

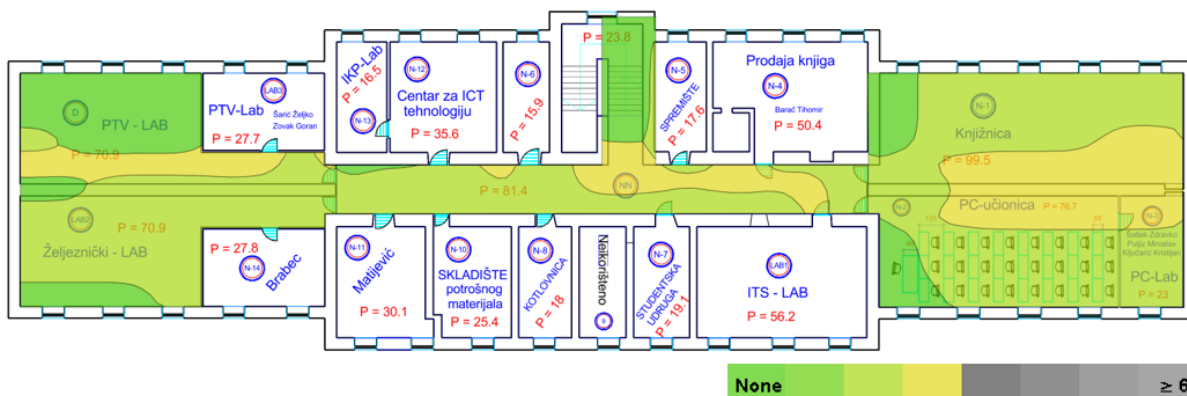


Slika 119 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.

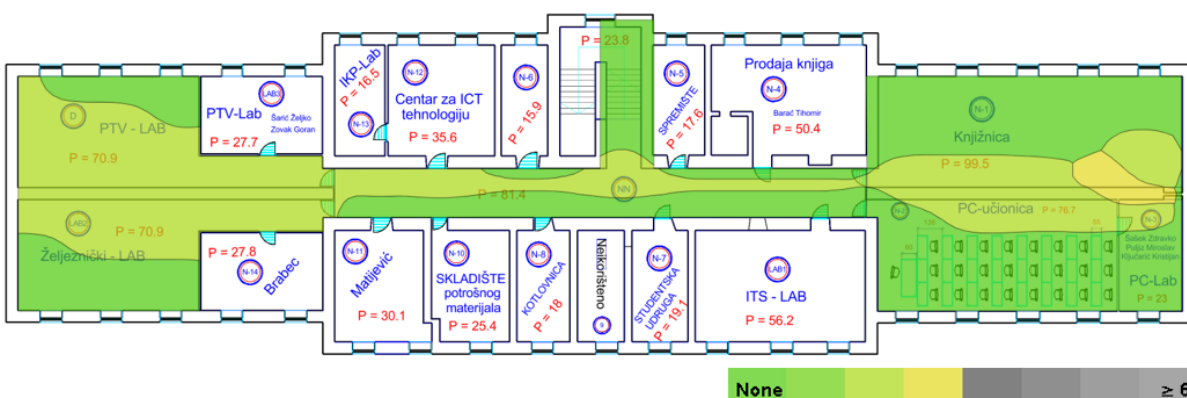
Preklapanje kanala

U 2.4 GHz pojasu preklapanje istih kanala se javlja na cijelom području podruma, na području knjižnice i računalne učionice javlja se najveći broj preklapajućih kanala, njih tri (120). Ostatak područja uglavnom su dva preklapajuća kanala.

U 5 GHz pojasu preklapanje kanala uglavnom ne postoji, tek ponegdje pojavljuju se dva preklapajuća kanala (121).



Slika 120 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u podrumu.

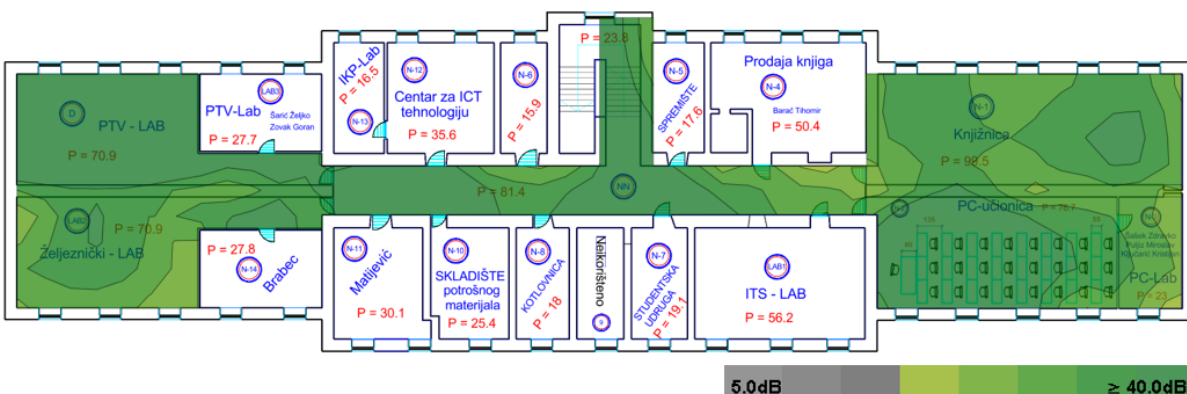


Slika 121 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.

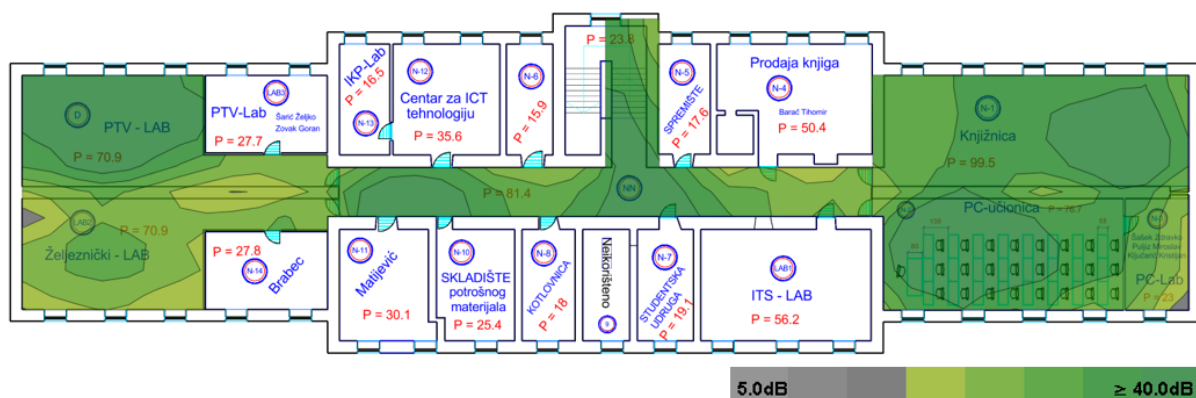
Odnos signal – šum

Odnos signal – šum u 2.4 GHz pojasu uglavnom ima visoke vrijednosti (122).

U 5 GHz pojasu odnos signal šum uglavnom ima prihvatljive vrijednosti osim na dijelu gdje je bila lošija i razina snage signala, gdje je nešto lošiji za razliku od ostatka, no i dalje prihvatljiv (123).



Slika 122 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u podrumu.

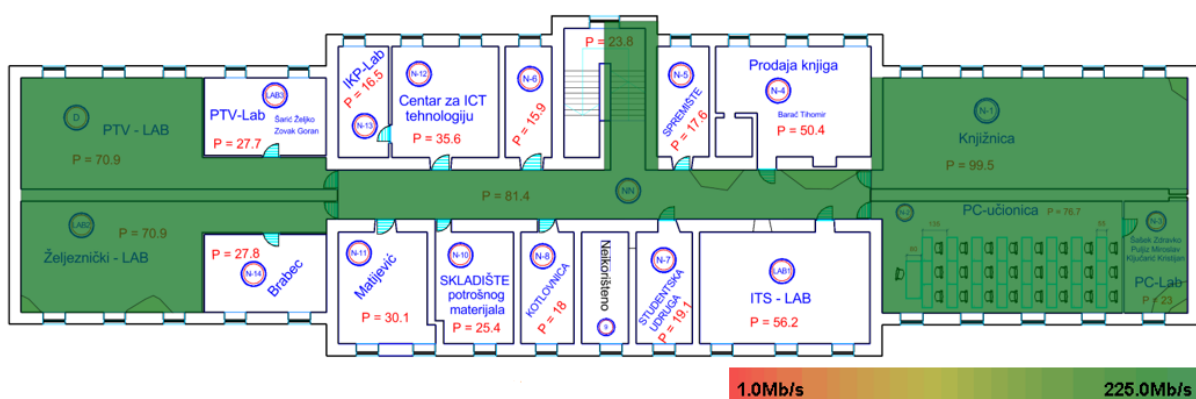


Slika 123 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.

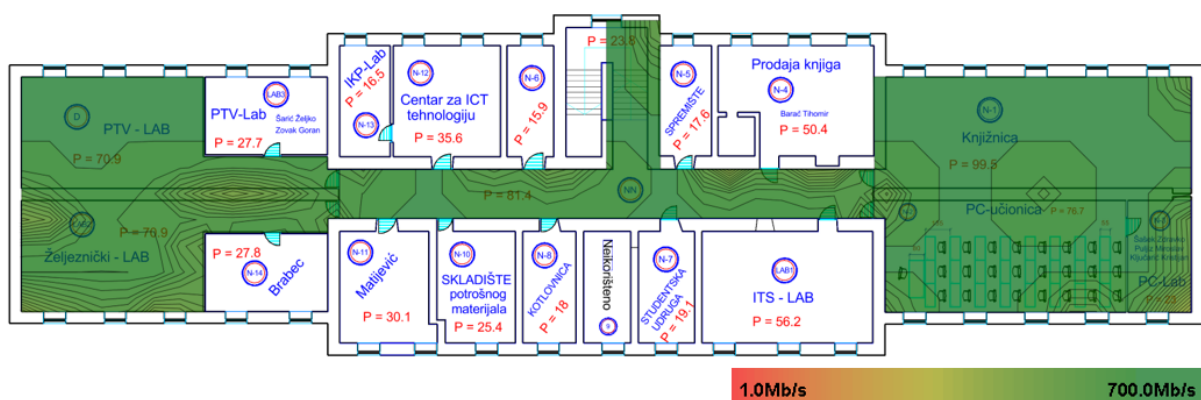
Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u području 2.4 GHz signala iznosi 225 Mbit/s na cijelome području (slika 124).

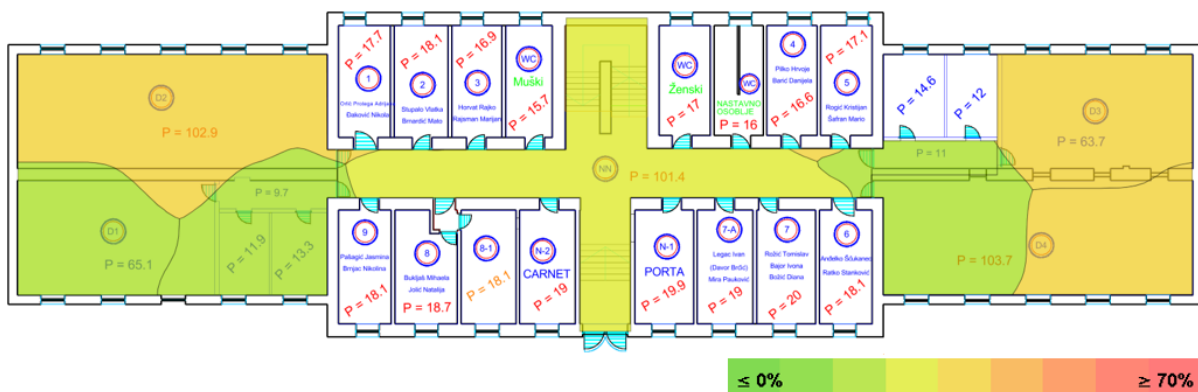
U 5 GHz pojasu ona je dosta veća i uglavnom iznosi 700 Mbit/s (slika 125).



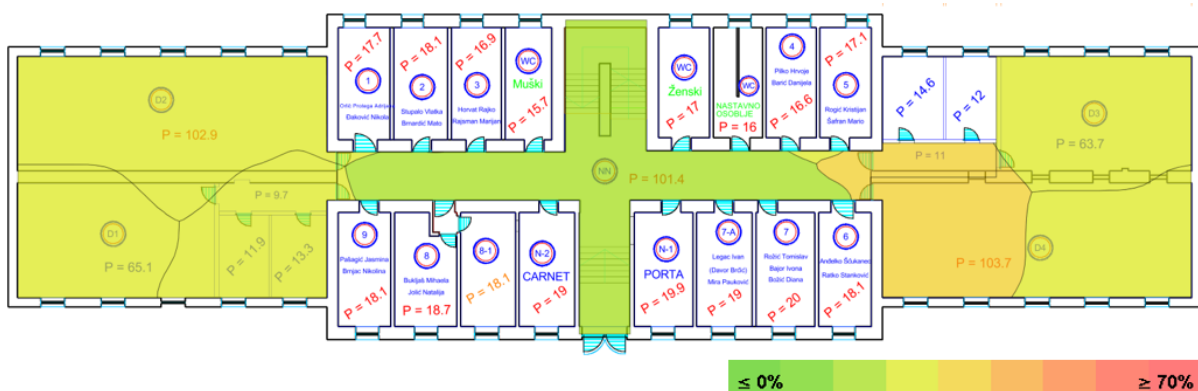
Slika 124 Brzina prijenosa u podrumu u 2.4 GHz pojasu.



Slika 125 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.



Slika 128 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.

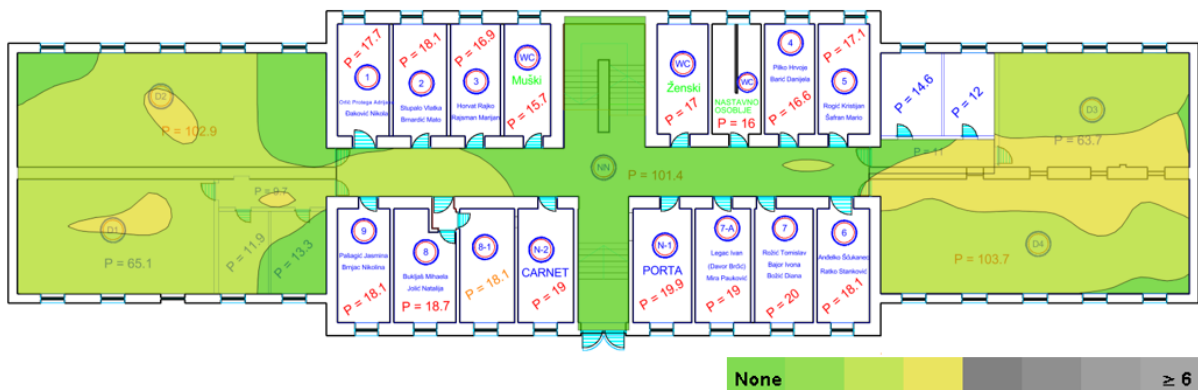


Slika 129 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.

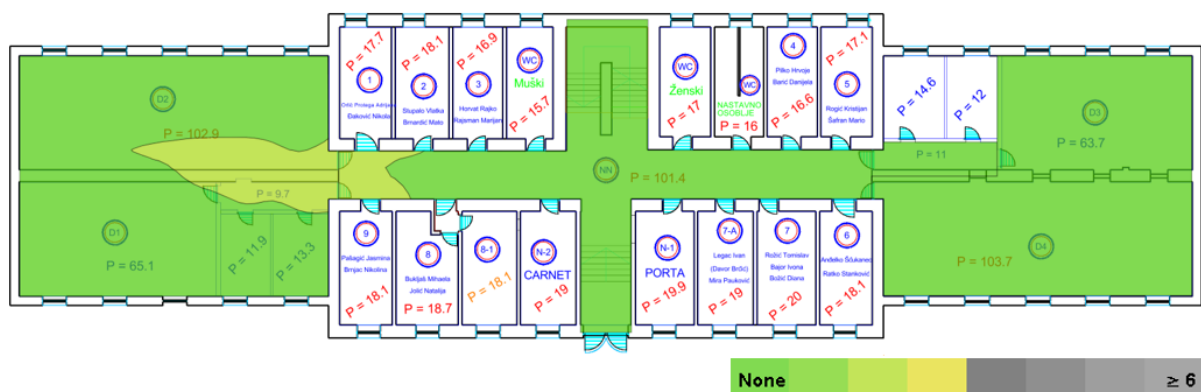
Preklapanje kanala

U 2.4 GHz pojasu u prizemlju preklapanje kanala se pojavljuje na nekim dijelovima i ono ne prelazi više od tri preklapanja po istom kanalu (slika 130).

S druge strane u 5 GHz pojasu postoji preklapanje je nepostojeće skoro (slika 131).



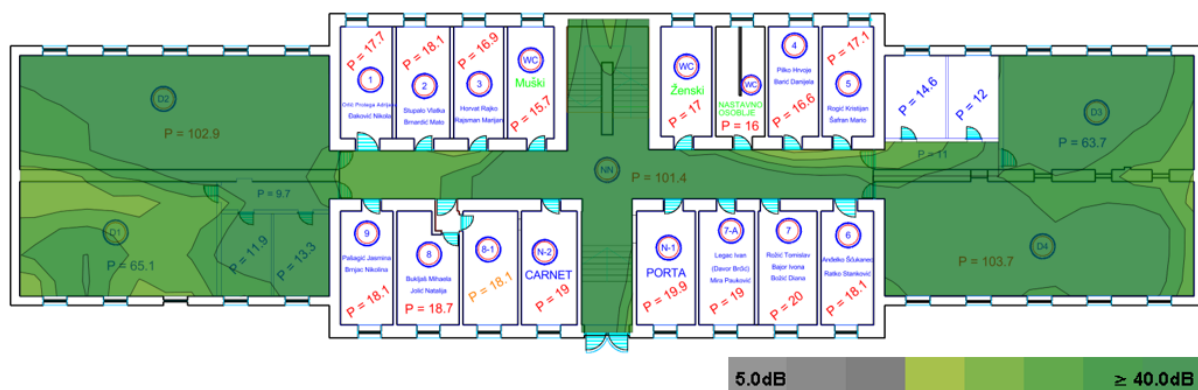
Slika 130 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.



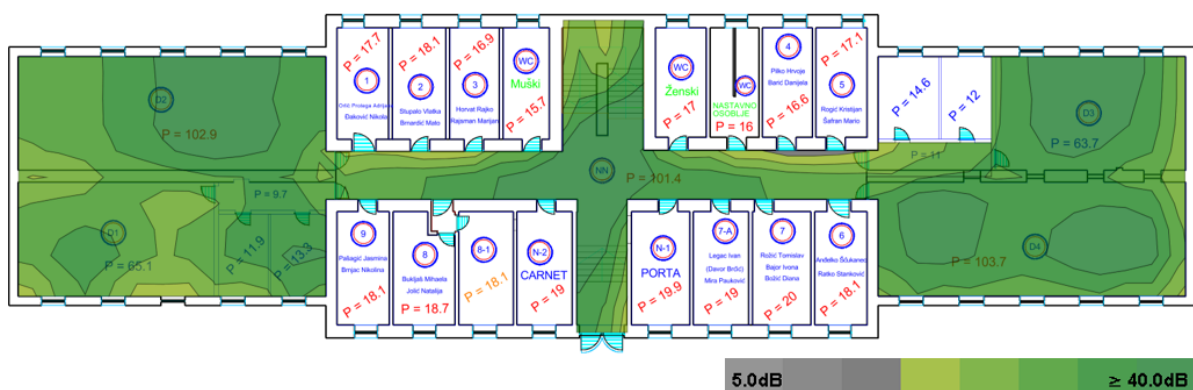
Slika 131 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.

Odnos signal – šum

Odnos signala i šuma na cijelom području prizemlja u oba frekvencijska pojasa, u 2.4 GHz (slika 132) i 5 GHz pojasu (slika 133), poprima prihvatljive vrijednosti.



Slika 132 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.

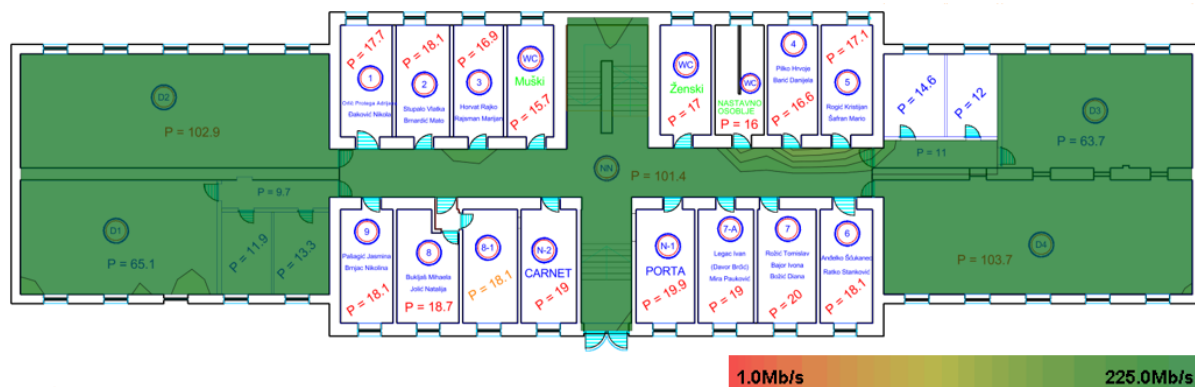


Slika 133 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.

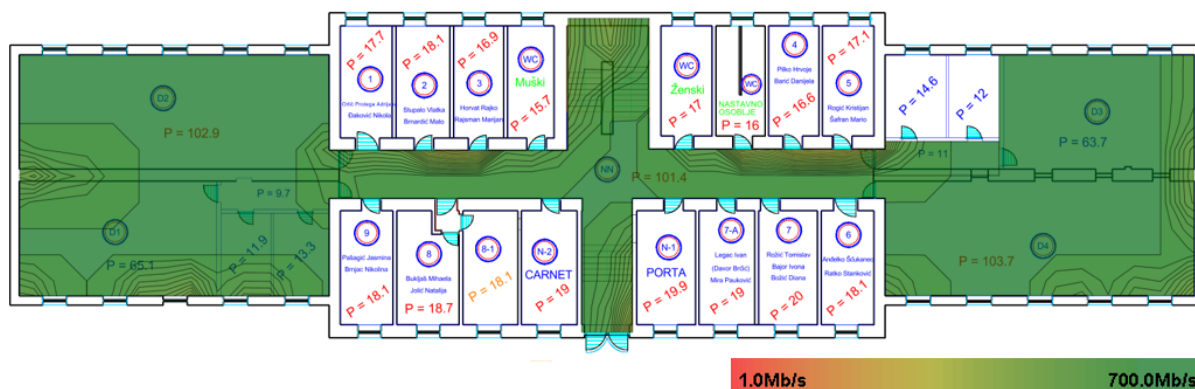
Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u području 2.4 GHz signala iznosi 225 Mbit/s na cijelome području (slika 134).

U 5 GHz pojasu ona je dosta veća i uglavnom iznosi 700 Mbit/s (slika 135).



Slika 134 Brzina prijenosa u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.



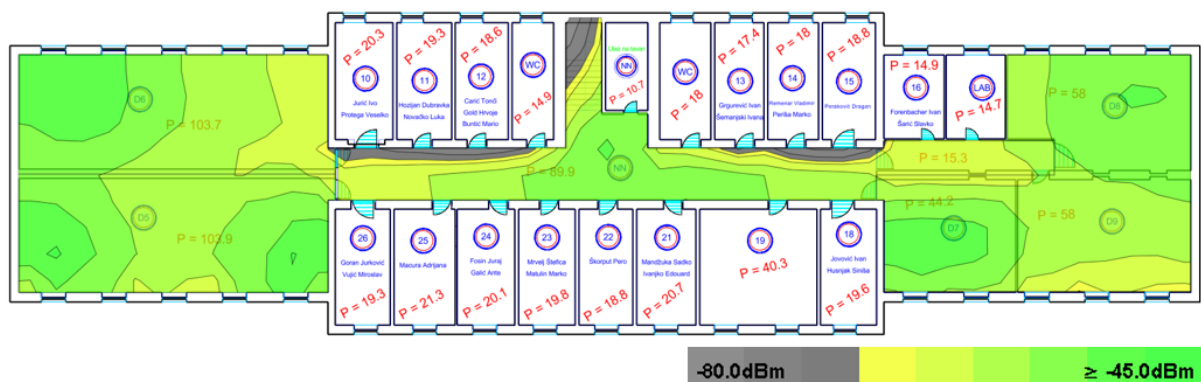
Slika 135 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.

6.5.7. Analiza kvalitete mreže na katu

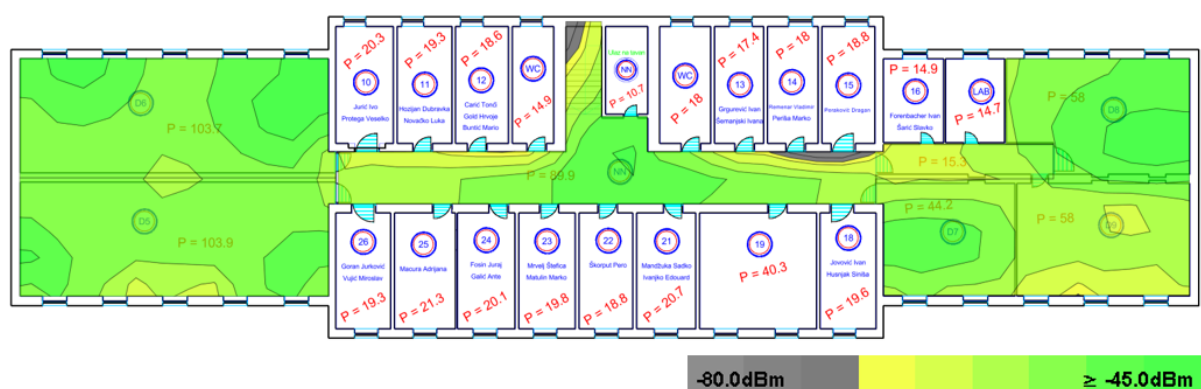
Razina snage signala

Razina snage signala u 2.4 GHz frekvencijskom pojasu na katu uglavnom je visoka, neka rubna područja u hodniku ne zadovoljavaju postavljene zahtjeve (slika 136), no postavljanje dodatnih pristupnih točaka uzrokuje dodatnu istokanalnu interferenciju i veću iskorištenost zračnog sučelja zbog čega su ti prostori ostavljeni sa postojećom razinom snage signala.

U 5 GHz pojasu razina snage signala, zbog postavljene nešto veće snaga odašiljanja na pristupnim točkama, uglavnom ima visoke vrijednosti (slika 137).



Slika 136 Pokrivenost kata 2.4 GHz signalom.

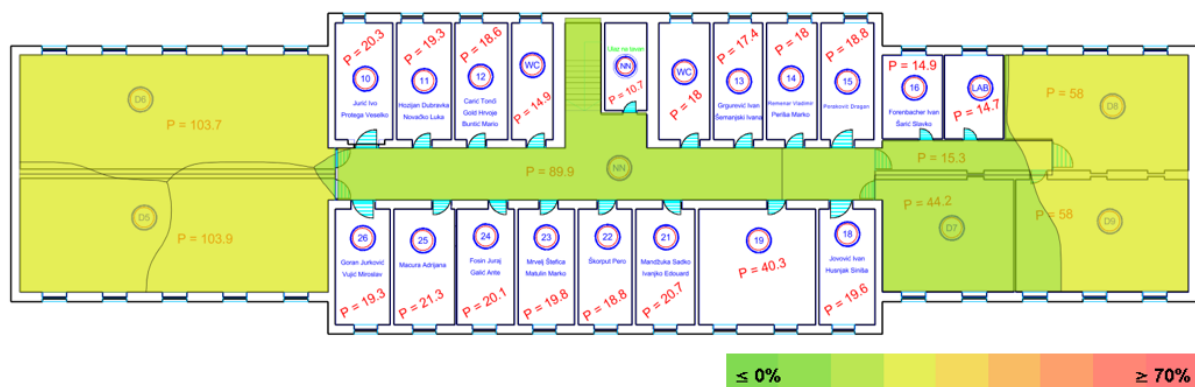


Slika 137 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.

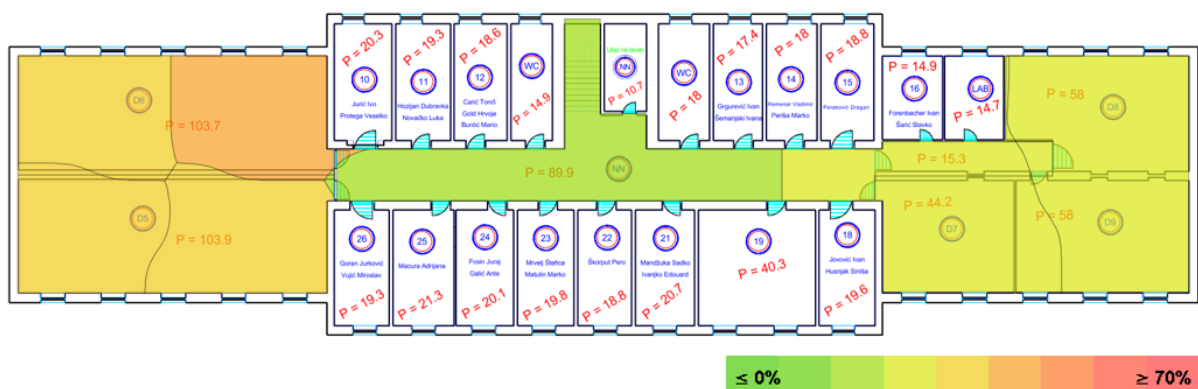
Iskorištenost zračnog sučelja

Iskorištenost zračnog sučelja u 2.4 GHz frekvencijskom pojasu na katu ima uglavnom niske vrijednosti, na području hodnika i dvorane 7 ona ne prelazi 13%, dok je na ostatku površine oko 28% (slika 138).

U 5 GHz frekvencijskom pojasu iskorištenost zračnog sučelja je nešto veća nego u 2.4 GHz pojasu, ona varira od pojedinog dijela objekta, ide od 16% pa do 40% (slika 139).



Slika 138 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 2.4 GHz pojasu.

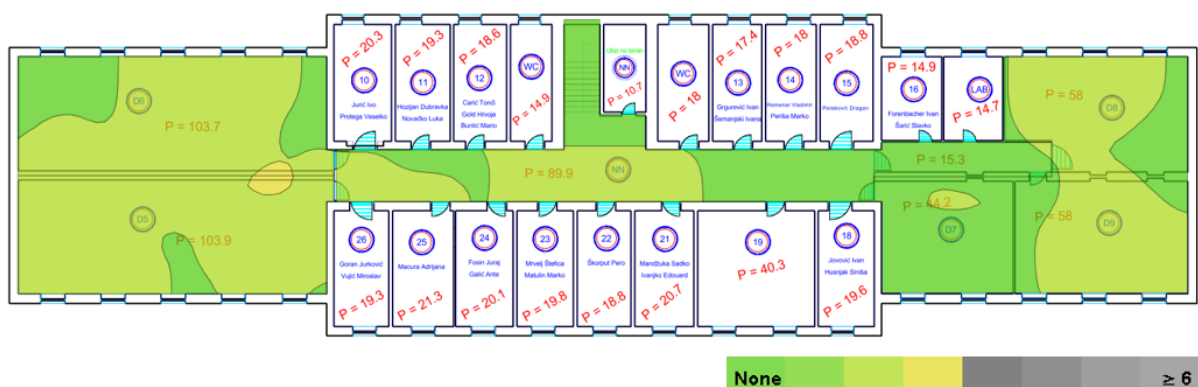


Slika 139 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.

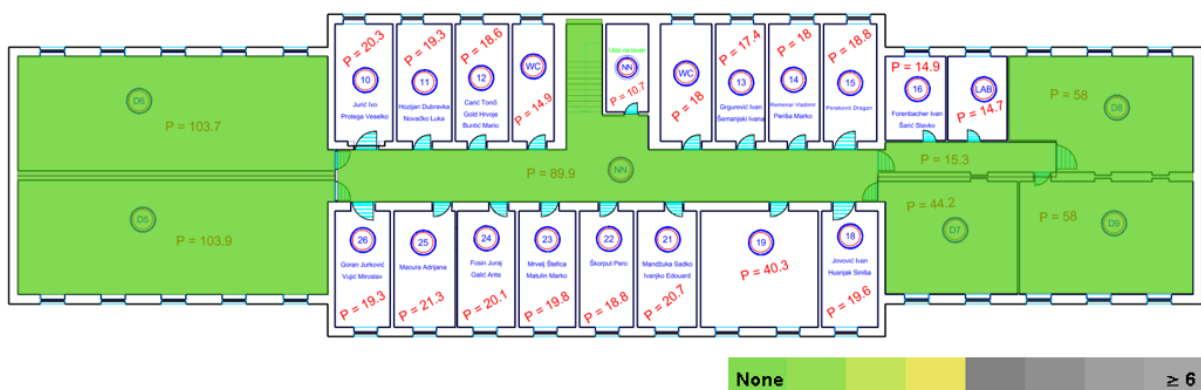
Preklapanje signala

Preklapanje signala na katu u 2.4 GHz pojasu nije posebno izraženo, pojavljuje se na nekim dijelovima i javljaju se više od dva preklapanja (140).

U 5 GHz pojasu, preklapanje kanala ne postoji nikako (slika 141).



Slika 140 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu na katu.

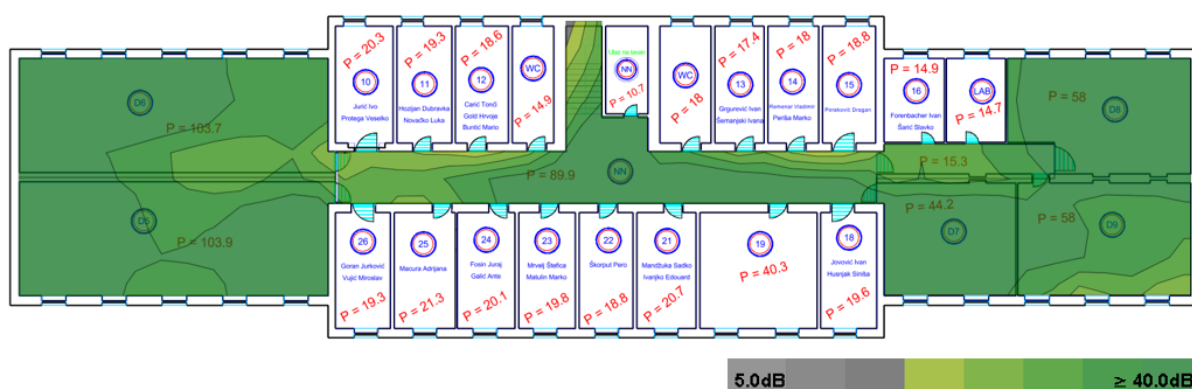


Slika 141 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.

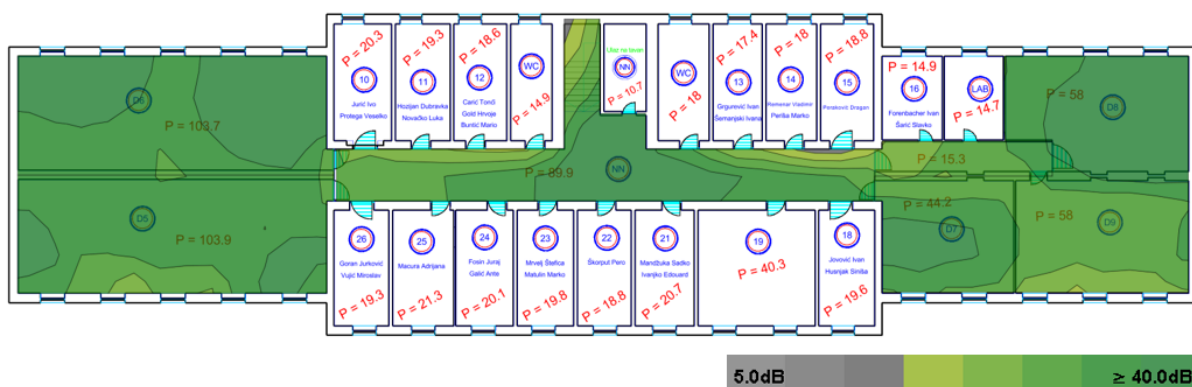
Odnos signal – šum

Odnos signala i šuma u 2.4 GHz pojasu uglavnom ima visoke vrijednosti, čak i na područjima gdje je razina snage signala lošija bila, omjer ima prihvatljive vrijednosti (slika 142), što je rezultat manje istokanalne interferencije na katu.

U 5 GHz pojasu omjer signala i šuma također ima visoke vrijednosti (slika 143).



Slika 142 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu na katu.

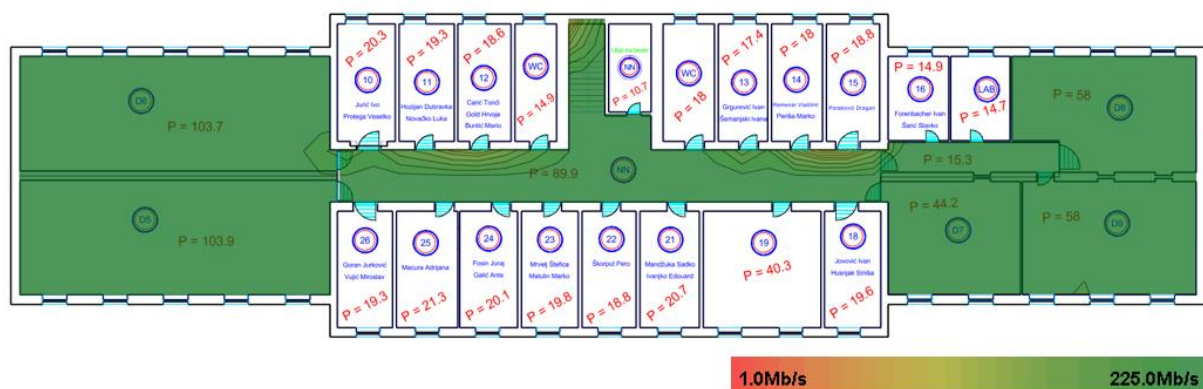


Slika 143 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu na katu.

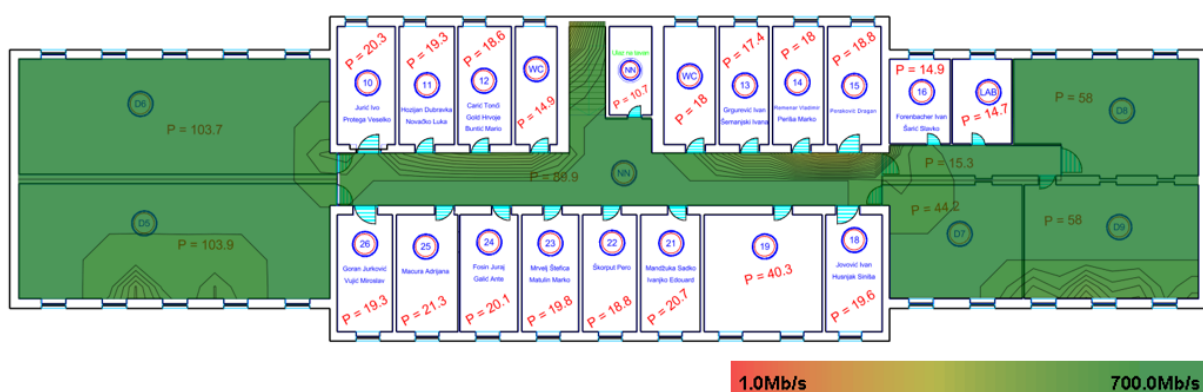
Brzina prijenosa

Brzina prijenosa u području 2.4 GHz signala iznosi 225 Mbit/s na cijelome području (slika 144).

U 5 GHz pojasu ona je dosta veća i uglavnom iznosi 700 Mbit/s (slika 145).



Slika 144 Brzina prijenosa na katu u 2.4 GHz pojasu.



Slika 145 Brzina prijenosa na katu u 5 GHz pojasu.

6.6. Prediktivni model unaprjeđenja mreže – samo 5 GHz frekvencijski pojas

6.6.1. Distribucija broja potrebnih pristupnih točaka

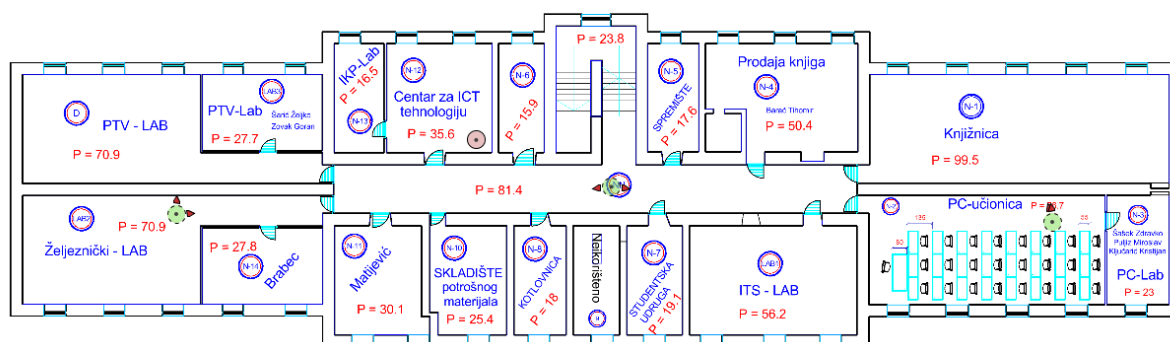
Za prediktivni model WLAN mreže koji će biti samo u 5 GHz frekvencijskom pojasu korištene su pristupne točke *Ruckus ZoneFlex R710*, zbog dobrih rezultata koje su pokazale u mrežama sa velikom gustoćom korisnika. S obzirom na prethodne verzije planova, gdje su korištene pristupne točke tvrtki *Cisco* i *Ruckus*, u planu sa pristupnim točkama tvrtke *Ruckus* ostvareni su slični rezultati ali su korištene četiri pristupne točke manje te je omogućena veća teoretska brzina prijenosa.

Za model mreže u 5 GHz pojasu upotrijebljeno je 12 pristupnih točaka. U podrumu je smješteno njih tri, u prizemlju njih pet, a na katu četiri. Sve pristupne točke rade u *dual band* načinu, pri čemu su oba u 5 GHz pojasu.

6.6.2. Raspored pristupnih točaka

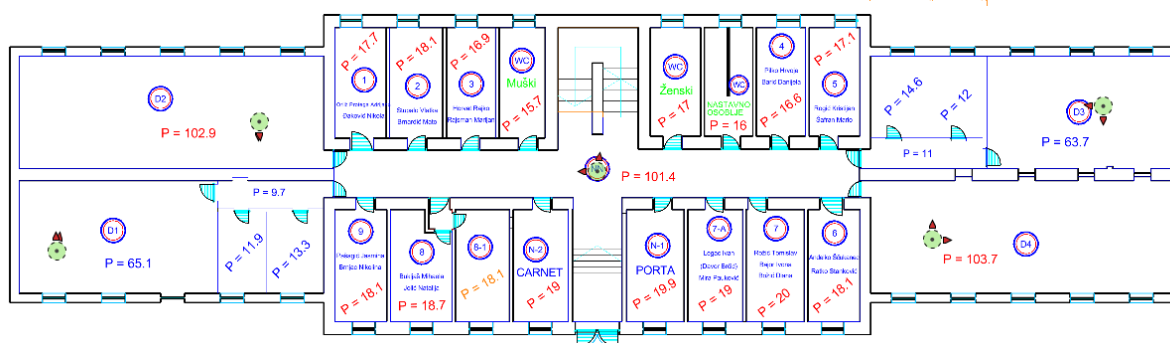
Pristupne točke se postavljene u na područjima gdje se očekuje veći broj korisnika, odnosno u dvoranama za predavanja. Ovisno o očekivanom broju korisnika postavljen je različit broj pristupnih točaka po dvoranama. Po jedna pristupna točka je postavljena u svakom podrumu kako bi se osigurao *roaming*.

U podrumu su postavljene tri pristupne točke, na području na laboratorija, u hodniku te na području knjižnice i računalnog kabineta (slika 146), pokrivajući tako signalom cijelo područje podruma.



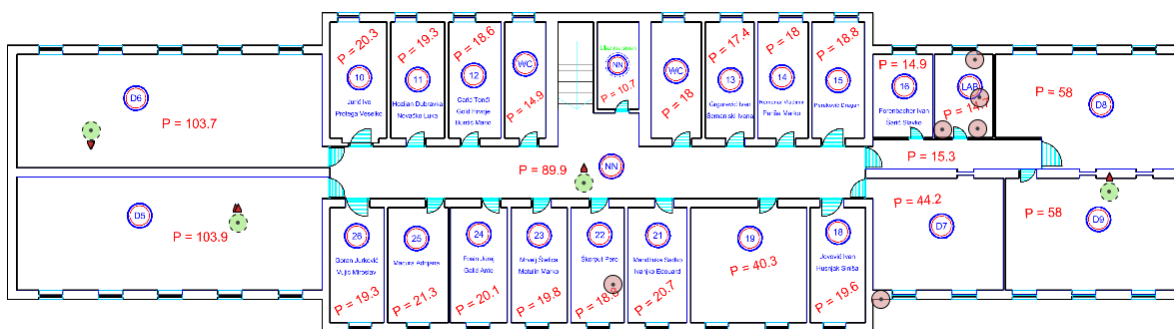
Slika 146 Raspored pristupnih točaka u podrumu.

U prizemlju je smješteno pet pristupnih točaka, pri čemu se u svakoj dvorani nalazi po jedna pristupna točka koja odašilje dva frekvencijska pojasa, oba u 5 GHz, što je slučaj i u hodniku (slika 147).



Slika 147 Raspored pristupnih točaka u prizemlju.

Četiri pristupne točke su smještene na području kata (slika 148). U dvoranama 5 i 6 se nalazi po jedna pristupna točka, koja radi u *dual band* načinu. Na drugoj strani za dvorane 7, 8 i 9 je potrebna jedna pristupna točka u *dual band* načinu rada. U hodniku je također smještena jedna pristupna točka u istom načinu rada.



Slika 148 Raspored pristupnih točaka na katu.

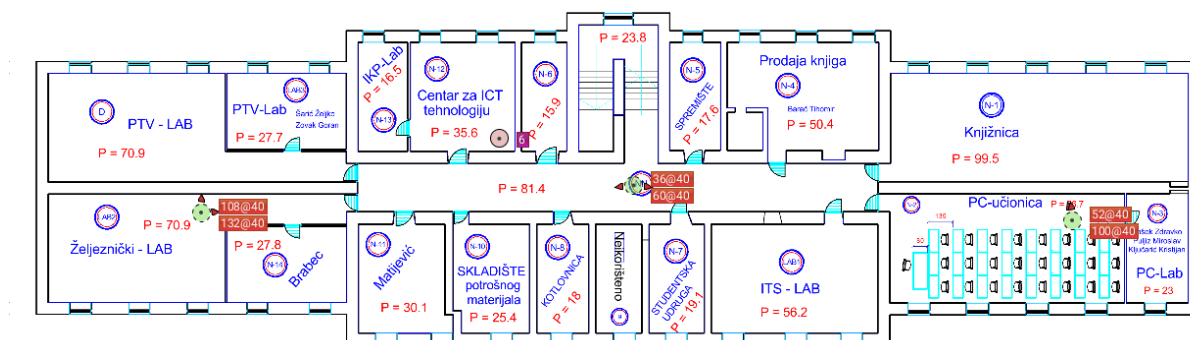
6.6.3. Konfiguracija kanala pristupnih točaka

U ovom prediktivnom modelu su korišteni samo kanali iz 5 GHz frekvencijskog pojasa, koje ima mnoge prednosti u odnosu na 2.4 GHz pojas, kao što su veće brzine prijenosa, manja zagušenja, manja pojava preklapanja kanala zbog većeg broja ponuđenih kanala i drugo. Jako su rijetki uređaji koji ne podržavaju 5 GHz frekvencijsko pojas, te uz mnoge nedostatke 2.4 GHz pojasa, sasvim je opravdano izvršiti prijelaz sa 2.4 na 5 GHz frekvencijski pojas.

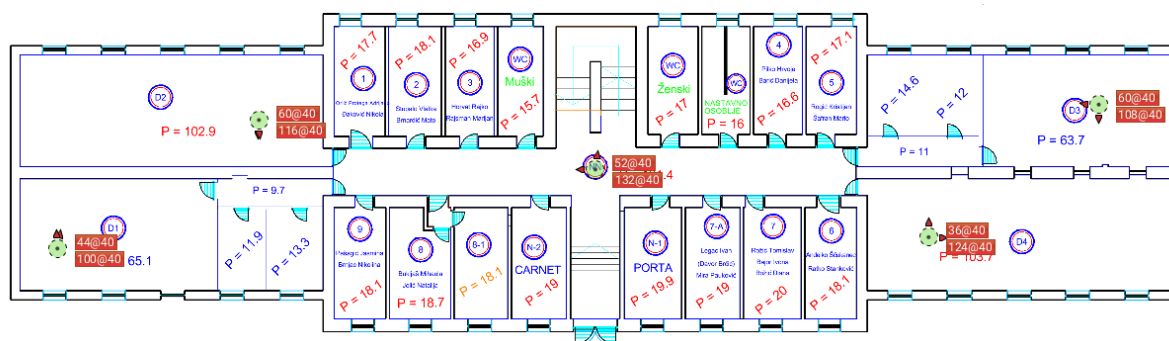
Pri širini kanala od 20 MHz, 5 GHz pojas ima 24 nepreklapajuća kanala zbog čega je planiranje u ovom frekvencijskom pojasu jako olakšano. Pri planiranju nastojano je iskoristiti sve kanale bez ponavljanih istih kad je moguće. U planu su također u obzir uzete pristupne točke iz pojedinih laboratorija i profesorskih ureda, zbog čega su pri planiranju kanala uzeti u obzir i kanali tih pristupnih točaka.

Iako je veći broj nepreklapajućih kanala pri širini pojasa od 20 MHz, u ovom prediktivnom modelu korištena je širina kanala od 40 MHz zbog veće propusnosti. Budući da broj pristupnih točaka nije prevelik, planiranje sa širinom kanala od 40 MHz bez da se pojavljuje preklapanje po istom kanalu je izvedivo.

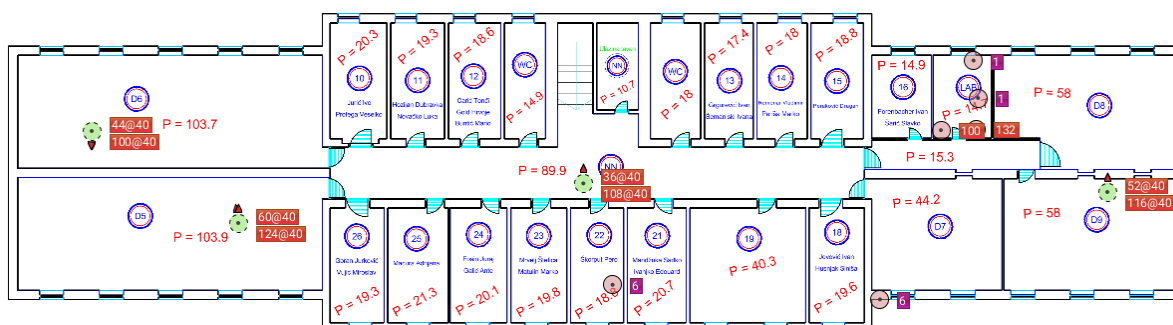
Planirana konfiguracija kanala u objektu 71 prikazana je slikama 149, 150, 151.



Slika 149 Konfiguracija kanala u podrumu.



Slika 150 Konfiguracija kanala u prizemlju.

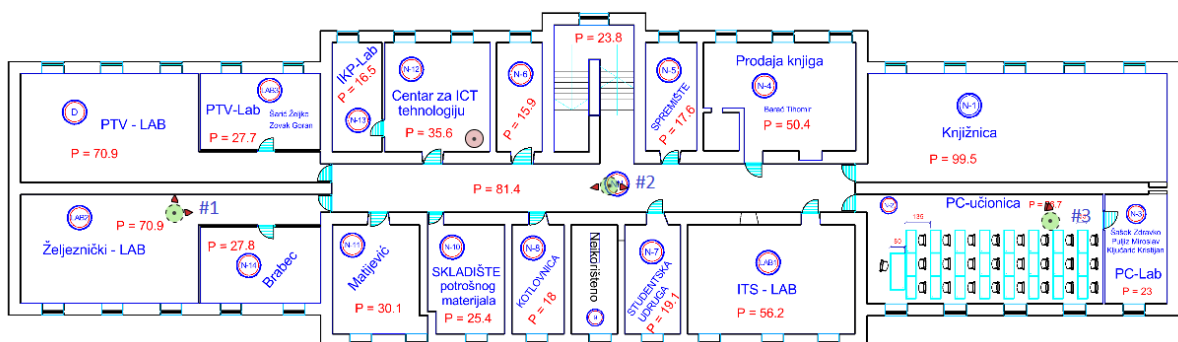


Slika 151 Konfiguracija kanala na katu.

6.6.4. Konfiguracija antena pristupnih točaka

Sve pristupne točke su postavljene na stropove pojedinih etaža. Za antene su korištene antene pojedinih pristupnih točaka, koje su konfigurirane s obzirom na karakteristike prostora i u odnosu na konfiguracije ostalih pristupnih točaka. Zbog manje pojave preklapanja kanala, omogućeno je korištenje veće snage odašiljanja na pojedinim pristupnim točkama, ovisno o potrebi.

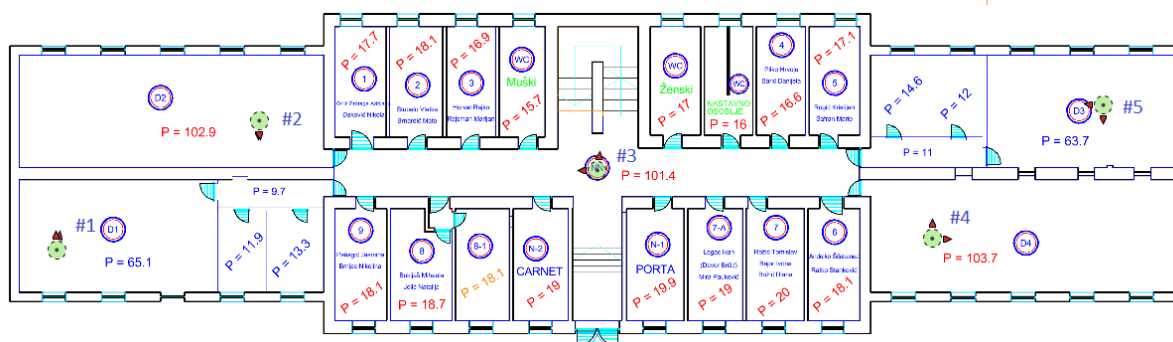
Konfiguracija pojedinih antena po etažama prikazana je slikama 152, 153, 154 te pripadajućim tablicama 14, 15, 16.



Slika 152 Prikaz pristupnih točaka u podrumu te usmjerenja njihovih antena.

Tablica 14 Konfiguracija pristupnih točaka u podrumu.

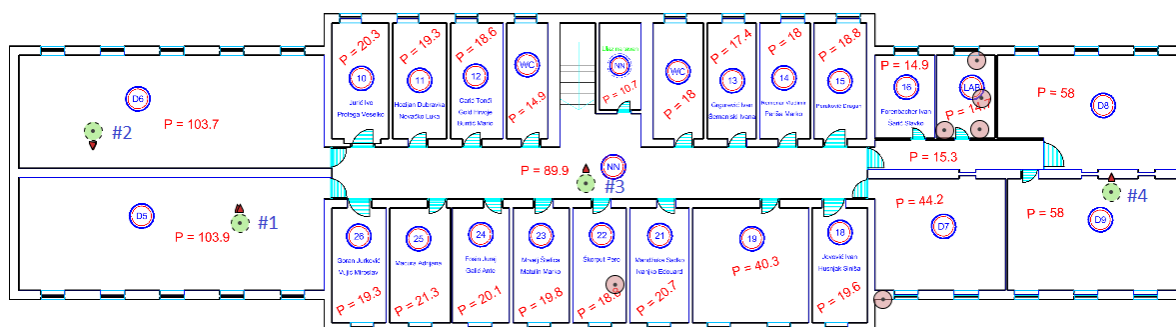
AP #		#1	#2	#3
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.5
Kanal prve antene (5 GHz @ 40 MHz)		108	36	52
Kanal druge antene (5 GHz @ 40 MHz)		132	60	132
Razina snage odašiljanja na prvoj anteni (mW)		50	25	50
Razina snage odašiljanja na drugoj anteni (mW)		50	25	50
Prikaz zračenja prve antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina			
	Horizontalna ravnina			
Prikaz zračenja druge antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina			
	Horizontalna ravnina			
Usmjerenje prve antene po vertikalnoj				
Usmjerenje druge antene po vertikalnoj osi				



Slika 153 Prikaz pristupnih točaka u prizemlju te usmjerenja njihovih antena.

Tablica 15 Konfiguracija pristupnih točaka u prizemlju.

AP #		#1	#2	#3	#4	#5
Visina na kojoj je postavljena (m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Kanal prve antene (5 GHz @ 40 MHz)		44	60	52	36	60
Kanal druge antene (5 GHz @ 40 MHz)		100	116	132	124	108
Razina snage odašiljanja na prvoj anteni (mW)		5	5	40	7	5
Razina snage odašiljanja na drugoj anteni (mW)		5	5	50	7	5
Prikaz zračenja prve antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina					
	Horizontalna ravnina					
Prikaz zračenja druge antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina					
	Horizontalna ravnina					
Usmjerenje prve antene po vertikalnoj						
Usmjerenje druge antene po vertikalnoj osi						



Slika 154 Prikaz pristupnih točaka na katu te usmjerenja njihovih antena.

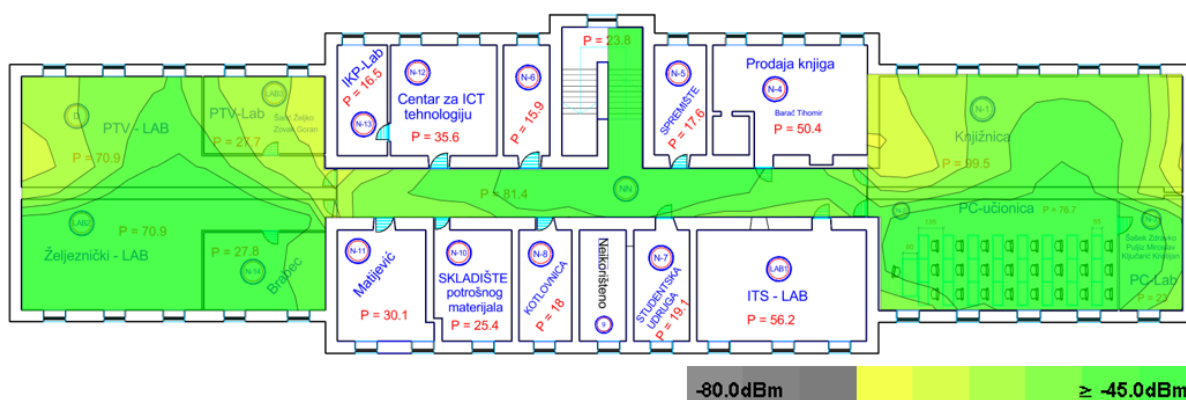
Tablica 16 Konfiguracija pristupnih točaka na katu.

AP #		#1	#2	#3	#4
Visina na kojoj je postavljena (m)		3.5	3.5	3.5	3.5
Kanal prve antene (5 GHz @ 40 MHz)		60	44	36	52
Kanal druge antene (5 GHz @ 40 MHz)		124	100	108	116
Razina snage odašiljanja na prvoj anteni (mW)		7	7	10	50
Razina snage odašiljanja na drugoj anteni (mW)		7	7	10	50
Prikaz zračenja prve antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina				
	Horizontalna ravnina				
Prikaz zračenja druge antene na 5 GHz	Vertikalna ravnina				
	Horizontalna ravnina				
Usmjerenje prve antene po vertikalnoj					
Usmjerenje druge antene po vertikalnoj osi					

6.6.5. Analiza kvalitete mreže u podrumu

Razina snage signala

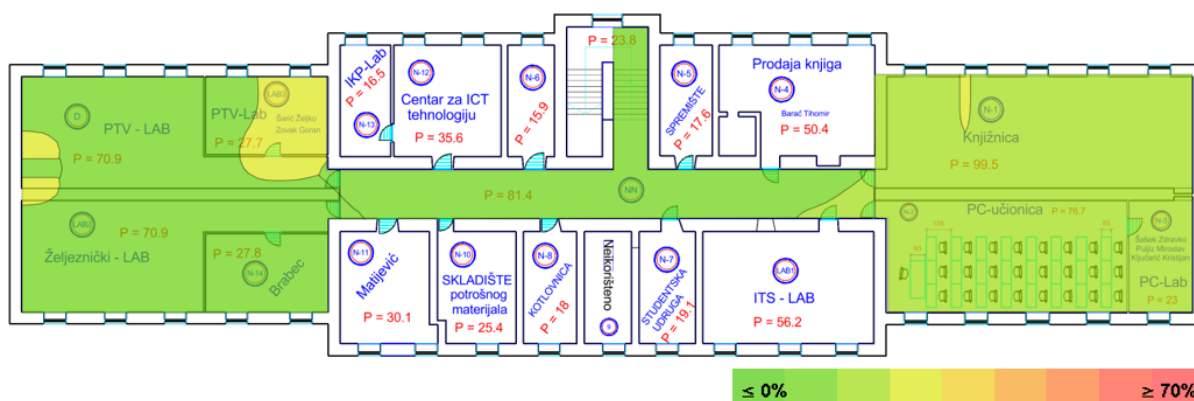
Razina snage signala na uglavnom ima visoke vrijednosti, nešto niže samo u nekim manjim dijelovima dvorana, ali svakako ispunjava postavljene zahtjeve (slika 155).



Slika 155 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.

Iskorištenost zračnog sučelja

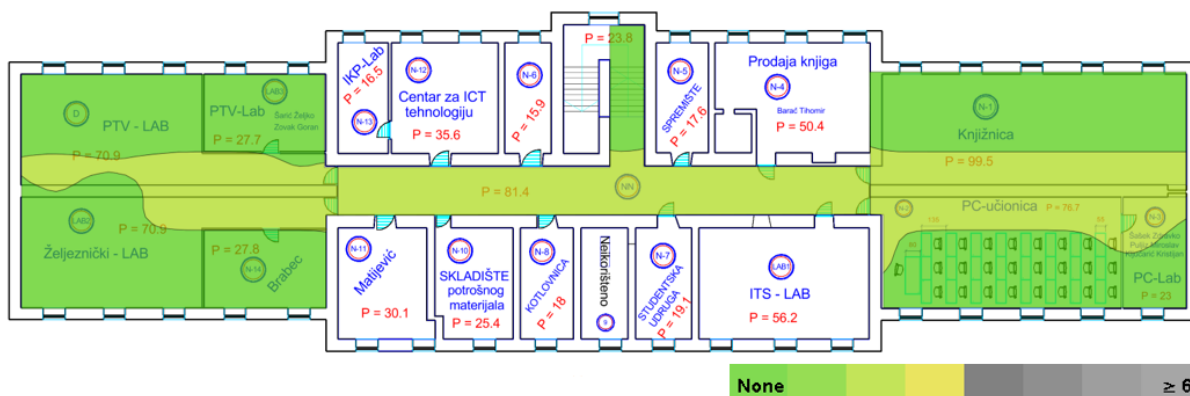
Iskorištenost zračnog sučelja ima jako niske vrijednosti, iskorištenost je uglavnom na oko 10% (slika 156).



Slika 156 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.

Preklapanje kanala

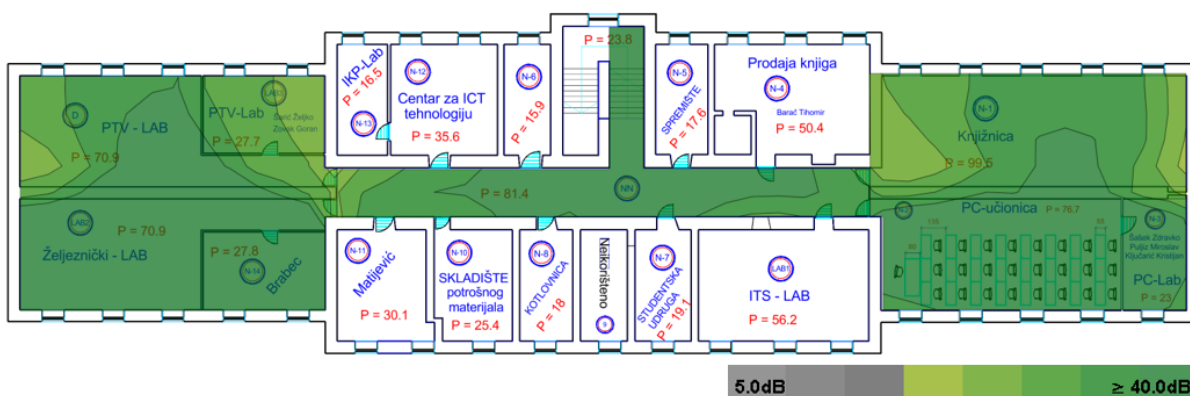
Preklapanje kanala se pojavljuje na manjem dijelu površine i ne pojavljuju se više od dva preklapanja (slika 157).



Slika 157 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.

Odnos signal – šum

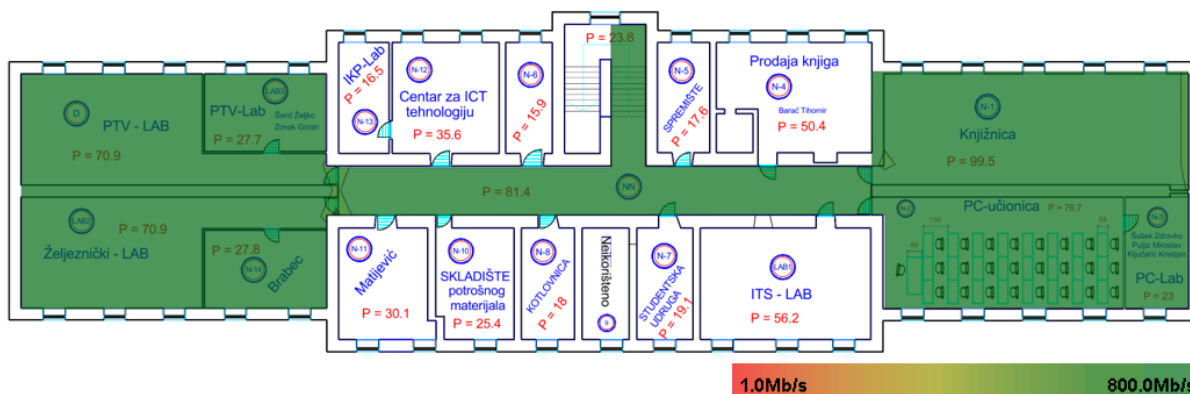
Odnos signala i šuma na području podruma poprima visoke vrijednosti (slika 158).



Slika 158 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.

Brzina prijenosa

Teoretska brzina prijenosa ide do maksimalnih 800 Mbit/s u podrumu (slika 159).

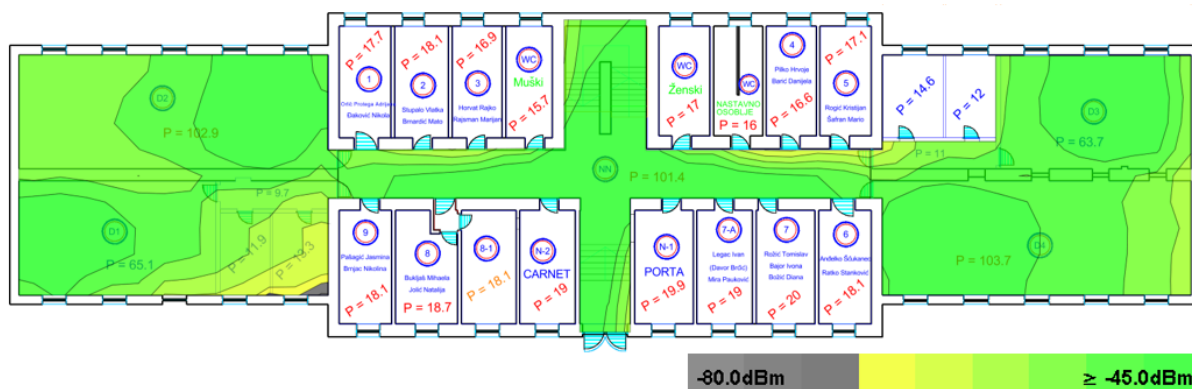


Slika 159 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.

6.6.6. Analiza kvalitete mreže u prizemlju

Razina snage signala

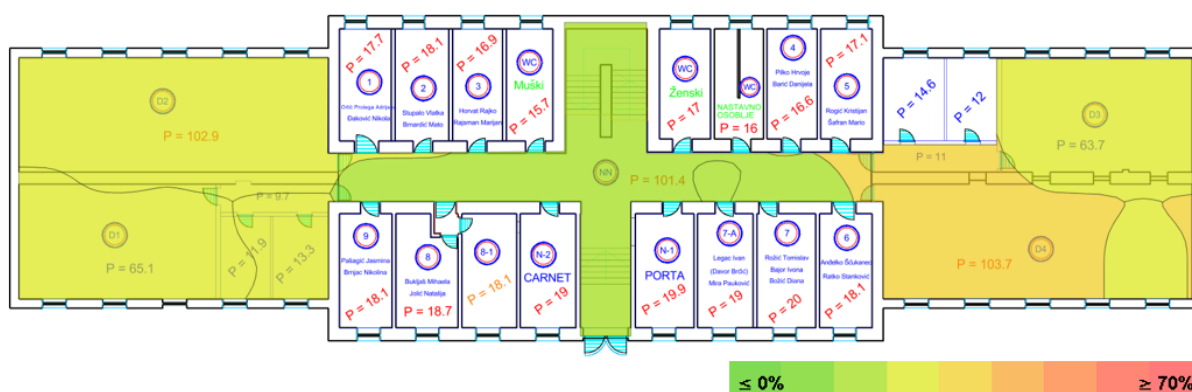
Signal visoke razine snage pokriva cijelo područje prizemlja (slika 160).



Slika 160 Pokrivenost prizemlja 5 GHz signalom.

Iskorištenost zračnog sučelja

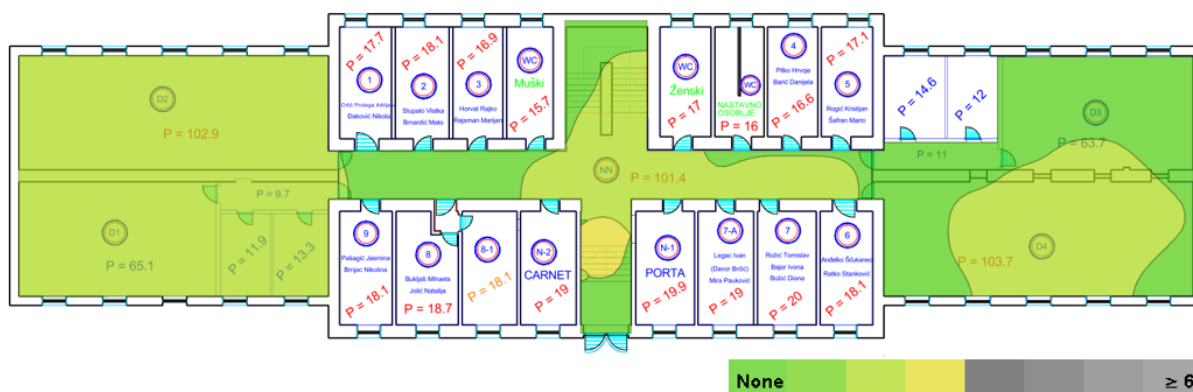
Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju ima zadovoljavajuće vrijednosti, iskorištenost se kreće od 10% na području hodnika, 25% na području dvorana 1 i 2, te na području dvorana 3 i 4 varira od 15% do 30% (slika 161).



Slika 161 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.

Preklapanje kanala

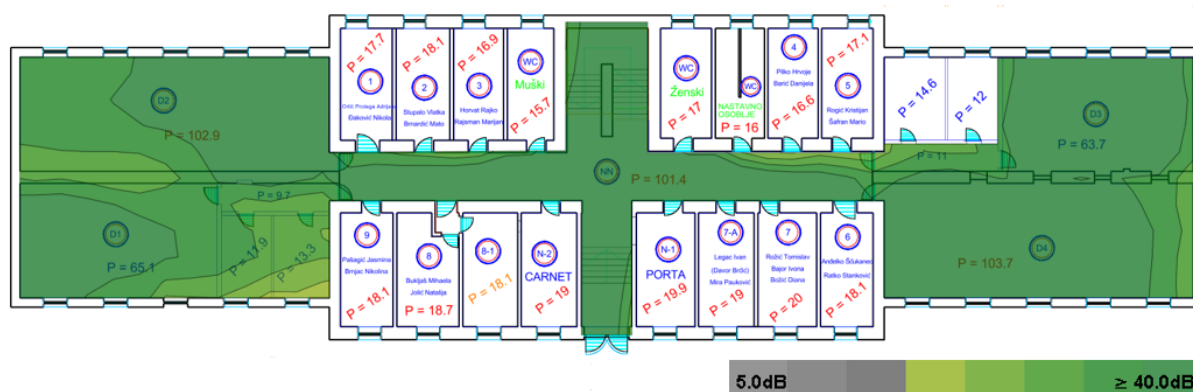
Preklapanje od dvaju kanala javlja se na većem dijelu površine (slika 162).



Slika 162 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.

Odnos signal – šum

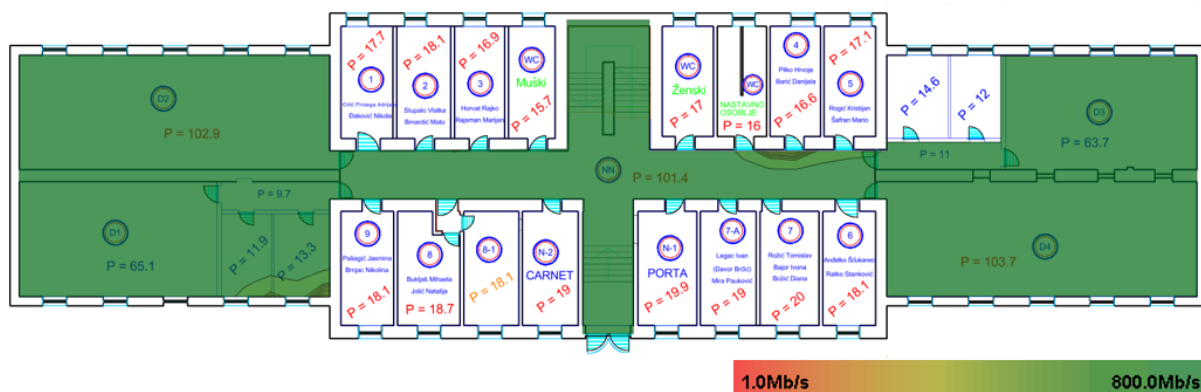
Odnos signala i šuma na području prizemlja poprima visoke vrijednosti, do oko 40 dB (slika 163).



Slika 163 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.

Brzina prijenosa

Na području prizemlja maksimalna teoretska brzina prijenosa iznosi 800 Mbit/s (slika 164).

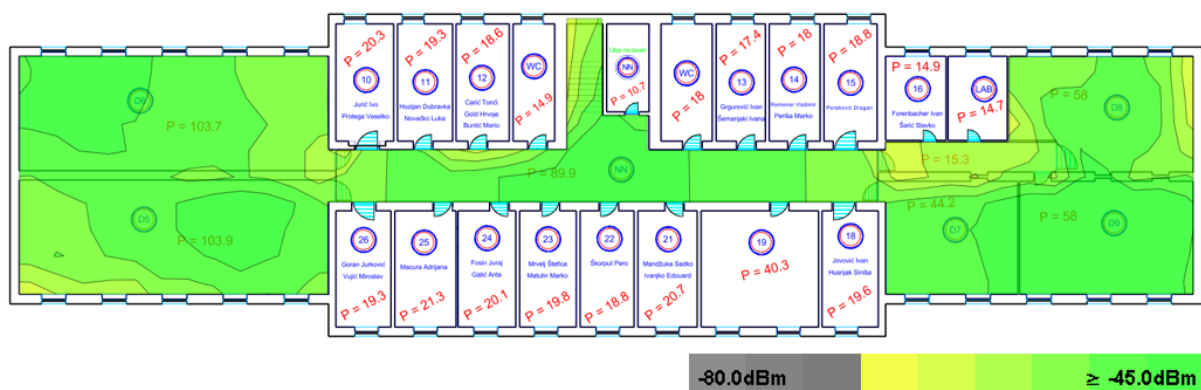


Slika 164 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.

6.6.7. Analiza kvalitete mreže na katu

Razina snage signala

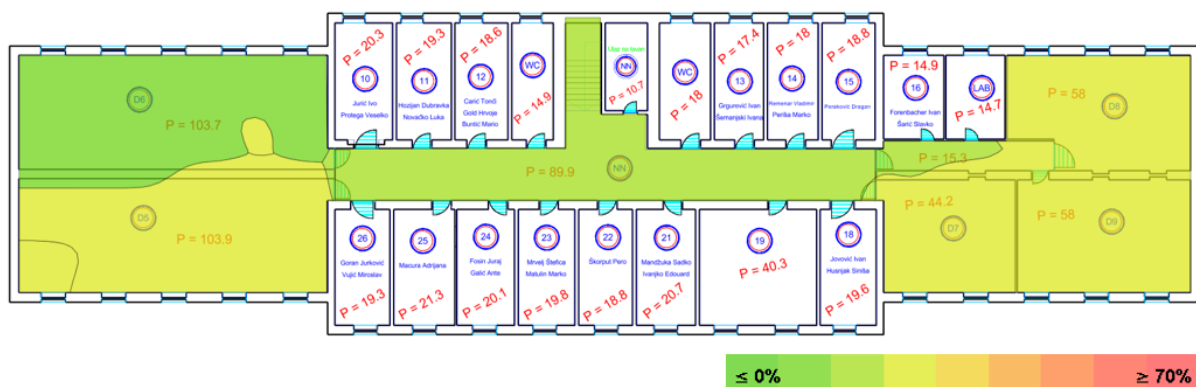
Snaga signala na svim dijelovima područja kata poprma poprilično visoke vrijednosti (slika 165).



Slika 165 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.

Iskorištenost zračnog sučelja

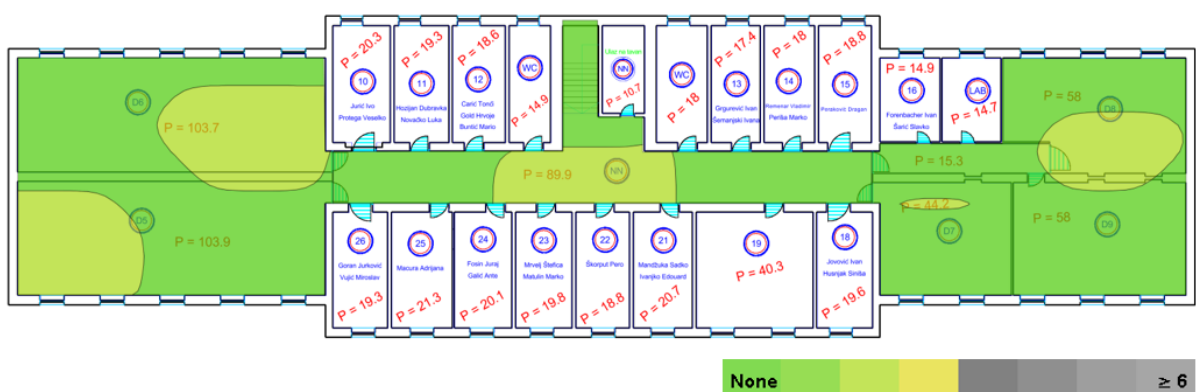
Iskorištenost zračnog sučelja uglavnom je niska, na jednom dijelu područja ona je ispod 10%, dok je na drugom dijelu ona oko 20% (slika 166).



Slika 166 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.

Preklapanje kanala

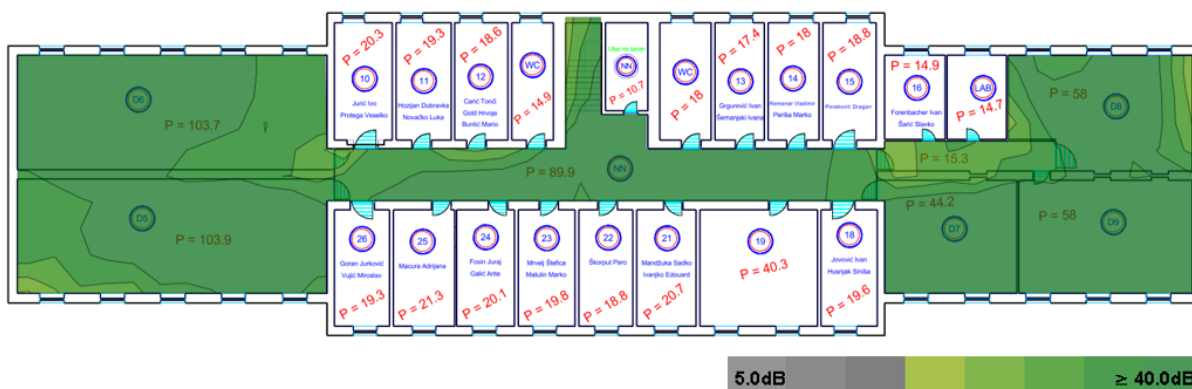
Preklapanje kanala na katu je skoro nepostojeće, na nekim dijelovima se javljaju do dva preklapajuća kanala (slika 167).



Slika 167 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.

Odnos signal – šum

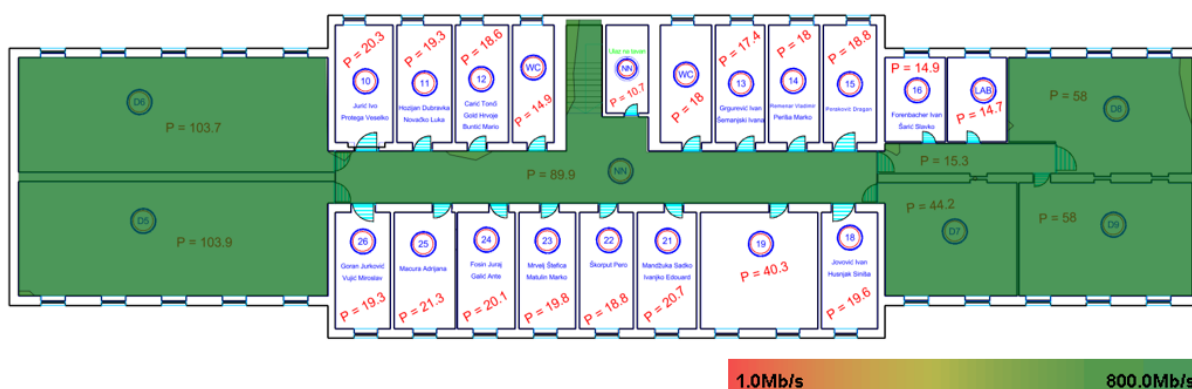
Odnos signala i šuma na cijelome području kata ima visoke vrijednosti (slika 168).



Slika 168 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu na katu.

Brzina prijenosa

Brzina prijenosa na katu kao i na prethodnim etažama ide do teoretskih 800 Mbit/s (slika 169).



Slika 169 Brzina prijenosa na katu u 5 GHz pojasu.

7. Zaključak

Bežične LAN mreže posvuda su danas. Zbog svih svojih funkcionalnosti koje pospješuju kvalitetu života i jednostavnosti implementacije one su zamijenile žične mreže i danas predstavljaju sastavni dio života. Kao i u svim drugim sferama, bežične mreže predstavljaju neizostavni dio i u obrazovnom sustavu. Promijenile su način na koji studenti pristupaju informacijama te način na koji profesori prenose znanje. Bežične mreže osiguravaju studentima na predavanjima pristup lekcijama, testovima, edukacijskim videima i ostalome, povećavajući time kvalitetu samog obrazovanja.

Dizajniranje bežične LAN mreže predstavlja ogroman izazov zbog same gustoće klijenata i njihovih zahtjeva za propusnošću. Dizajniranje mreže koja može podržati *stream* videa visoke kvalitete za 30 ili više studenata je jako teško ali izvedivo uz pažljivo dizajniranje. Dizajniranje mreže za zgradu Fakulteta prometnih znanosti, odnosno Objekt 71, pokazalo se kao takav izazov.

Izvršenom validacijskom analizom utvrđeni su nedostaci sadašnje mreže. Glavni problem postojeće mreže jest nedovoljan broj pristupnih točaka, zbog čega je pri nešto većem broju klijenata koji istovremeno pokušavaju pristupiti mreži iskorištenost zračnog sučelja prevelika i uzrokuje prevelika čekanja te naposljetku gubitak konekcije. Nedostatan broj pristupnih točaka uzrokuje i premalu razinu snage signala na katu.

Za novu mrežu u Objektu 71 predloženo je više rješenja. Za plan mreže u oba frekventijska pojasa izrađene su verzije sa dvije različite pristupne točke, jednom nešto skupljom. Uz to rađen je plan mreže u 5 GHz pojasu. Plan je pokazao da je za takvu mrežu potrebno mnogo manje pristupnih točaka te uz to parametri su imali mnogo bolje vrijednosti. Planom bežične mreže u 5 GHz pojasu pokazano je zbog čega je potrebno izbjegavati implementiranje mreže u 2.4 GHz pojasu.

Literatura

- [1] Techterms, "WLAN (Wireless Local Area Network)," 2017.
<https://techterms.com/definition/wlan>.
- [2] Lifewire, "The Range of a Typical WiFi Network," 2018.
<https://www.lifewire.com/range-of-typical-wifi-network-816564>.
- [3] C. J. Mathias, "A brief history of wireless technology," 2004.
<http://www.itworld.com/article/2802953/mobile/a-brief-history-of-wireless-technology.html>.
- [4] dr. sc. I. Forenbacher, "Arhitektura lokalnih (LAN) mreža." 2017.
- [5] ExtremeTech, "How to Boost Your Wi-Fi Speed by Choosing the Right Channel." 2017.
Available: <https://www.extremetech.com/computing/179344-how-to-boost-your-wifi-speed-by-choosing-the-right-channel>.
- [6] dr. sc. Š. Mrvelj, "Slojevite arhitekture i norme umrežavanja otvorenih sustava." 2017.
- [7] H. Hamidović, *Bežične lokalne računalne mreže*. 2009.
- [8] Tektronix Inc., "Wi-Fi : Overview of the 802.11 Physical Layer and Transmitter Measurements," 2013.
- [9] D. dr. sc. M. Muštra, "Mobilne komunikacije." 2017.
- [10] AllAboutCircuits, "Understanding Spread-Spectrum RF Communication."
<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/radio-frequency-analysis-design/selected-topics/understanding-spread-spectrum-rf-communication/>.
- [11] F. Fund, "Frequency hopping spread spectrum," 2017.
<https://witestlab.poly.edu/blog/frequency-hopping-spread-spectrum/>.
- [12] University Notre Dame, "802.11 Data Link Layer."
[https://www3.nd.edu/~mhaenggi/NET/wireless/802.11b/Data Link Layer.htm](https://www3.nd.edu/~mhaenggi/NET/wireless/802.11b/Data%20Link%20Layer.htm).
- [13] Microsoft, "How 802.11 Wireless Works," 2009.
[https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2003/cc757419\(v=ws.10\)#United States \(English\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2003/cc757419(v=ws.10)#United%20States%20(English)).
- [14] Connet802, "Electromagnetic Radiation And Antenna Operation."
<https://www.connect802.com/overview-of-wifi-antenna-operation>.
- [15] Wi-Fi Alliance, "Wi-Fi AllianceWi-Fi Alliance® introduces Wi-Fi CERTIFIED WPA3™ security."
- [16] IEEE, "History of IEEE."

<https://www.ieee.org/about/ieee-history.html>.

- [17] Purple, "The History of WiFi," 2014.
<https://purple.ai/blogs/history-wifi/>.
- [18] Radio-Electronics, "IEEE 802.11 Wi-Fi Standards."
<https://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php>.
- [19] Radio-Electronics, "What is MIMO? Multiple Input Multiple Output Tutorial." .
- [20] Network World, "802.11ax," 2018.
<https://www.networkworld.com/article/3258807/lan-wan/what-is-802-11ax-wi-fi-and-what-will-it-mean-for-802-11ac.html>.
- [21] J. Crane, B. Harkins, J. Kiviniemi, J. Olla, C. Harkins, and J. Wiley, *Wi-Fi Network Design Ekahau Special Edition Wi-Fi Network Design For Dummies ® , Ekahau Special Edition* .
- [22] J. Florwick, J. Whiteaker, A. Amrod, and J. Woodhams, "Wireless LAN design guide for high density client environments in higher education," *User Guid.*, 2011.
- [23] Ekahau, "About Ekahau Site Survey."
<https://www.ekahau.com/>.
- [24] Metageek, "Understanding WiFi Signal Strength."
<https://www.metageek.com/training/resources/wifi-signal-strength-basics.html>.
- [25] dr. sc. I. Forenbacher, "Privatne bilješke." .
- [26] Ekahau, "Airtime Utilization in ESS."
<https://support.ekahau.com/hc/en-us/articles/115002437233-Airtime-Utilization-in-ESS>.
- [27] Cisco, "Wireless fundamentals: Signal-to-Noise Ratio (SNR) and wireless signal strength."
[https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Wireless_fundamentals%3A_Signal-to-Noise_Ratio_\(SNR\)__and_wireless_signal_strength](https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Wireless_fundamentals%3A_Signal-to-Noise_Ratio_(SNR)__and_wireless_signal_strength).
- [28] Ekahau, "High Capacity Wi-Fi 101." p. 2017, 2017.
- [29] Divergent Dynamics, "Primary and Secondary Coverage."
<http://divdyn.com/primary-secondary-coverage/>.
- [30] Metis, "8 reasons to turn down the transmit power of your Wi-Fi," 2017.
<https://metis.fi/en/2017/10/txpower/>.
- [31] Robostation, "Setting minimum data rates? Read this first.," 2016.
<https://robostation.com/2016/06/22/setting-minimum-data-rates-read-this-first/>.
- [32] Cisco, "Channel Planning Best Practices," 2012.

https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Channel_Planning_Best_Practices.

- [33] Fakultet Prometnih Znanosti, "Arhiva."
- [34] Cisco, "Cisco Aironet 1130AG IEEE 802.11 A/B/G Access Point," 2014.
https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1130-ag-series/product_data_sheet0900aecd801b9058.html.
- [35] ABI Research, "ABI projects rapid uptake of 802.11ac," 2017.
- [36] Ruckus, "R710 INDOOR ACCESS POINT."
<https://www.ruckuswireless.com/products/access-points/ruckus-indoor/ruckus-r710>.
- [37] <https://www.cnet.com/products/cisco-aironet-3802i-wireless-access-point-airap3802ibk9/prices/>.
- [38] Hummingbird Networks, "Cisco Aironet 3802i 802.11ac Wave 2 4x4 Wireless Access Point."

Popis ilustracija

Slika 1 Prikaz 2.4 GHz frekvencijskog pojasa.....	3
Slika 2 Prikaz 5 GHz frekvencijskog pojasa.....	4
Slika 3 Razlika signala proširenog spektra i uskopojasnog signala.	8
Slika 4 Screenshot pseudoslučajne sekvence sa prikazanim kanalima.	9
Slika 5 Neovisni servis set.	12
Slika 6 Osnovni servis set.	12
Slika 7 Prošireni servis set.	13
Slika 8 Infrastrukturni način.	14
Slika 9 Ad hoc način rada.	14
Slika 10 Uzorak zračenja omni-direkcionalne (dipol) antene u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Vanjska kružnica definira 0 dB gubitka, dok unutrašnje plave kružnice predstavljaju gubitke od 3,10, 20, 30, 40 dB.....	16
Slika 11 Uzorak zračenja polu-direkcionalne antene u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Vanjska kružnica definira 0 dB gubitka, dok unutrašnje plave kružnice predstavljaju gubitke od 3, 10, 20, 30, 40 dB.....	17
Slika 12 Uzorak zračenja visoko-direkcionalne antene u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Vanjska kružnica definira 0 dB gubitka, dok unutrašnje plave kružnice predstavljaju gubitke od 3, 10, 20, 30, 40 dB.....	17
Slika 13 Prikaz preklapanja po istom kanalu i preklapanja sa susjednim kanalima.	29
Slika 14 Odnos signala i šuma.	29
Slika 15 Ikonografika načina poboljšanja kvalitete mreže.	31
Slika 16 Primjer pravilno konfiguriranih ćelija u prostoru.	35
Slika 17 Objekt 71.	36
Slika 18 Karakteristike pojedinih etaža objekta 71.	37
Slika 19 Prikaz tlocrta podruma objekta 71.	38
Slika 20 Prikaz tlocrta prizemlja objekta 71.	39
Slika 21 Prikaz tlocrta kata objekta 71.	40
Slika 22 Pristupna točka korištena u postojećoj mreži Objekta 71 - Cisco Aironet 1130AG. ..	43
Slika 23 Prikaz položaja pristupnih točaka u podrumu i pripadajućih kanala. Zelenom bojom je prikazana pristupna točka Eduroam mreže.	43
Slika 24 Prikaz položaja pristupnih točaka u podrumu i pripadajućih kanala.	44
Slika 25 Prikaz položaja pristupnih točaka na katu i pripadajućih kanala. Zelenom bojom su prikazane pristupne točke Eduroam mreže.	44
Slika 26 Prikaz zadanih vrijednosti parametara.	45
Slika 27 Problemi sa mrežom u podrumu u 2.4 GHz pojasu.....	46
Slika 28 Problemi sa mrežom u podrumu u 5 GHz pojasu.....	46
Slika 29 Pokrivenost podruma 2.4 GHz signalom.	47
Slika 30 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.	47
Slika 31 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 2.4 GHz pojasu.....	48
Slika 32 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.....	48
Slika 33 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u podrumu.....	48

Slika 34 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.....	49
Slika 35 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u podrumu.....	49
Slika 36 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.....	49
Slika 37 Brzina prijenosa u podrumu u 2.4 GHz pojasu.....	50
Slika 38 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.....	50
Slika 39 Problemi sa mrežom u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.....	51
Slika 40 Problemi sa mrežom u 5 GHz pojasu u prizemlju.....	51
Slika 41 Pokrivenost prizemlja 2.4 GHz signalom.....	51
Slika 42 Pokrivenost prizemlja 5 GHz signalom.....	52
Slika 43 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.....	52
Slika 44 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.....	52
Slika 45 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.....	53
Slika 46 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.....	53
Slika 47 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.....	54
Slika 48 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.....	54
Slika 49 Brzina prijenosa u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.....	54
Slika 50 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.....	55
Slika 51 Problemi sa mrežom na katu u 2.4 GHz pojasu.....	55
Slika 52 Problemi sa mrežom na katu u 5 GHz pojasu.....	56
Slika 53 Pokrivenost kata 2.4 GHz signalom.....	56
Slika 54 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.....	56
Slika 55 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 2.4 GHz pojasu.....	57
Slika 56 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.....	57
Slika 57 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu na katu.....	58
Slika 58 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.....	58
Slika 59 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu na katu.....	58
Slika 60 Omjer signal - šum u 5 GHz katu na katu.....	59
Slika 61 Brzina prijenosa na katu u 2.4 GHz pojasu.....	59
Slika 62 Brzina prijenosa na katu u 5 GHz pojasu.....	59
Slika 63 Prikaz zahtijevanih minimalnih vrijednosti pojedinih parametara.....	62
Slika 64 Prikaz profila pametnog telefona.....	63
Slika 65 Prikaz profila prijenosnog računala.....	64
Slika 66 Pristupna točka korištena za prvu verziju prediktivnog modela mreže Objekta 71 - Ruckus ZoneFlex R710.....	65
Slika 67 Raspored pristupnih točaka u podrumu.....	65
Slika 68 Raspored pristupnih točaka u prizemlju.....	66
Slika 69 Raspored pristupnih točaka na katu.....	66
Slika 70 Konfiguracija kanala u podrumu.....	67
Slika 71 Konfiguracija kanala u prizemlju.....	67
Slika 72 Konfiguracija kanala na katu.....	68
Slika 73 Prikaz pristupnih točaka u podrumu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.....	68
Slika 74 Prikaz pristupnih točaka u prizemlju te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.....	70

Slika 75 Prikaz pristupnih točaka na katu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.....	71
Slika 76 Pokrivenost podruma 2.4 GHz signalom.	72
Slika 77 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.	72
Slika 78 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 2.4 GHz pojasu.....	73
Slika 79 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.....	73
Slika 80 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u podrumu.....	73
Slika 81 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.....	74
Slika 82 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u podrumu.....	74
Slika 83 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.....	74
Slika 84 Brzina prijenosa u podrumu u 2.4 GHz pojasu.	75
Slika 85 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.	75
Slika 86 Pokrivenost prizemlja 2.4 GHz signalom.	76
Slika 87 Pokrivenost prizemlja 5 GHz signalom.	76
Slika 88 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.....	76
Slika 89 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.....	77
Slika 90 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.	77
Slika 91 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.	77
Slika 92 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojas u prizemlju.....	78
Slika 93 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.....	78
Slika 94 Brzina prijenosa u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.	79
Slika 95 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.	79
Slika 96 Pokrivenost kata 2.4 GHz signalom.	80
Slika 97 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.	80
Slika 98 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 2.4 GHz pojasu.....	81
Slika 99 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.....	81
Slika 100 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu na katu.	81
Slika 101 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.....	82
Slika 102 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu na katu.....	82
Slika 103 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu na katu.....	82
Slika 104 Brzina prijenosa na katu u 2.4 GHz pojasu.	83
Slika 105 Brzina prijenosa na katu u 5 GHz pojasu.	83
Slika 106 Pristupna točka korištena za drugu verziju prediktivnog modela mreže Objekta 71 - Cisco 3802i.....	84
Slika 107 Raspored pristupnih točaka u podrumu.....	85
Slika 108 Raspored pristupnih točaka u prizemlju.....	85
Slika 109 Raspored pristupnih točaka na katu.....	86
Slika 110 Konfiguracija kanala u podrumu.....	86
Slika 111 Konfiguracija kanala u prizemlju.....	87
Slika 112 Konfiguracija kanala na katu.....	87
Slika 113 Prikaz pristupnih točaka u podrumu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.....	88
Slika 114 Prikaz pristupnih točaka u prizemlju te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.....	89

Slika 115 Prikaz pristupnih točaka na katu te usmjerenja njihovih antena, pri čemu manja strelica označava 5 GHz, a veća 2.4 GHz pojas.....	90
Slika 116 Pokrivenost podruma 2.4 GHz signalom.	91
Slika 117 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.	91
Slika 118 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 2.4 GHz pojasu.....	92
Slika 119 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.....	92
Slika 120 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u podrumu.	93
Slika 121 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.	93
Slika 122 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u podrumu.....	93
Slika 123 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.....	94
Slika 124 Brzina prijenosa u podrumu u 2.4 GHz pojasu.	94
Slika 125 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.	94
Slika 126 Pokrivenost prizemlja 2.4 GHz signalom.	95
Slika 127 Pokrivenost prizemlja 5 GHz signalom.	95
Slika 128 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.....	96
Slika 129 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.....	96
Slika 130 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.	96
Slika 131 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.	97
Slika 132 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu u prizemlju.....	97
Slika 133 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.....	97
Slika 134 Brzina prijenosa u prizemlju u 2.4 GHz pojasu.	98
Slika 135 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.	98
Slika 136 Pokrivenost kata 2.4 GHz signalom.	99
Slika 137 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.	99
Slika 138 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 2.4 GHz pojasu.....	99
Slika 139 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.....	100
Slika 140 Preklapanje kanala u 2.4 GHz pojasu na katu.	100
Slika 141 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.....	100
Slika 142 Omjer signal - šum u 2.4 GHz pojasu na katu.....	101
Slika 143 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu na katu.....	101
Slika 144 Brzina prijenosa na katu u 2.4 GHz pojasu.	102
Slika 145 Brzina prijenosa na katu u 5 GHz pojasu.	102
Slika 146 Raspored pristupnih točaka u podrumu.....	103
Slika 147 Raspored pristupnih točaka u prizemlju.....	103
Slika 148 Raspored pristupnih točaka na katu.....	104
Slika 149 Konfiguracija kanala u podrumu.....	104
Slika 150 Konfiguracija kanala u prizemlju.....	105
Slika 151 Konfiguracija kanala na katu.....	105
Slika 152 Prikaz pristupnih točaka u podrumu te usmjerenja njihovih antena.....	106
Slika 153 Prikaz pristupnih točaka u prizemlju te usmjerenja njihovih antena.....	107
Slika 154 Prikaz pristupnih točaka na katu te usmjerenja njihovih antena.....	108
Slika 155 Pokrivenost podruma 5 GHz signalom.	109
Slika 156 Iskorištenost zračnog sučelja u podrumu u 5 GHz pojasu.....	109
Slika 157 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u podrumu.	110

Slika 158 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u podrumu.	110
Slika 159 Brzina prijenosa u podrumu u 5 GHz pojasu.	110
Slika 160 Pokrivenost prizemlja 5 GHz signalom.	111
Slika 161 Iskorištenost zračnog sučelja u prizemlju u 5 GHz pojasu.	111
Slika 162 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu u prizemlju.	112
Slika 163 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu u prizemlju.	112
Slika 164 Brzina prijenosa u prizemlju u 5 GHz pojasu.	113
Slika 165 Pokrivenost kata 5 GHz signalom.	113
Slika 166 Iskorištenost zračnog sučelja na katu u 5 GHz pojasu.	114
Slika 167 Preklapanje kanala u 5 GHz pojasu na katu.	114
Slika 168 Omjer signal - šum u 5 GHz pojasu na katu.	115
Slika 169 Brzina prijenosa na katu u 5 GHz pojasu.	115

Popis tablica

Tablica 1 OSI referentni model, IEEE 802.11 definira fizički sloj i sloj veze podataka.	5
Tablica 2 Prikaz podslojeva fizičkog sloja i sloja veze podataka.	6
Tablica 3. Prikaz fizičkog sloja i sloja veze podataka te korištenih mehanizama i tehnologija.	7
Tablica 4 Zahtijevana propusnost pojedinih aplikacija.	24
Tablica 5 Zahtijevane razine snage signala za pojedine aplikacije.	27
Tablica 6 802.11 standardi i njihove modulacijske sheme te pripadajuće brzine prijenosa.	34
Tablica 7 Prigušenje snage signala za pojedine materijale.	37
Tablica 8 Konfiguracija pristupnih točaka u podrumu.	69
Tablica 9 Konfiguracija pristupnih točaka u prizemlju.	70
Tablica 10 Konfiguracija pristupnih točaka u prizemlju.	71
Tablica 11 Konfiguracija pristupnih točaka u podrumu.	88
Tablica 12 Konfiguracija pristupnih točaka u prizemlju.	89
Tablica 13 Konfiguracija pristupnih točaka na katu.	90
Tablica 14 Konfiguracija pristupnih točaka u podrumu.	106
Tablica 15 Konfiguracija pristupnih točaka u prizemlju.	107
Tablica 16 Konfiguracija pristupnih točaka na katu.	108

Popis grafova

Graf 1 Utjecaj vrste klijenata na sam broj klijenata koje pristupna točka može posluživati, a da pri tome iskorištenost zračnog sučelja ne prelazi 60%.	30
Graf 2 Prikaz pristupnih točaka od Eduroama u objektu 71 u odnosu na ukupan broj pristupnih točaka u okolini.	42
Graf 3 Prikaz odnosa broja korisnika i pristupnih točaka po katovima.	42

Graf 4 Prikaz tranzicije sa 802.11n na 802.11ac standard.	63
---	----

Popis kratica

16QAM – 16-level Quadrature Amplitude Modulation

64QAM – 64-level Quadrature Amplitude Modulation

ACK – Acknowledgment

AP – Access Point

BPSK – Binary Phase Shift Keying

BSS – Basic Service Set

CCK – Complementary Code Keying

CDMA – Code Division Multiple Access

CS/CCA – Carrier Sense/Clear Channel Assessment

CSMA/CA – Carrier-Sense Multiple Access With Collision

CSMA/CD – Carrier-Sense Multiple Access With Detection

CTS - Clear to Send

DCF – Distributed Coordination Function

DFS – Dynamic Frequency Selection

DS – Distribution System

DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

ESS – Extended Service Set

FCC – Federal Communications Commission

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

IBSS – Independent Basic Service Set

IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers

IR – Infra Red

ISM – Industrial, Scientific and Medical

ISO – International Organization for Standardization

LAN – Local Area Network

LLC – Logical Link Control

MAC – Medium Access Control

MIMO – Multiple Input Multiple Output

MPDU – MAC Protocol Data Unit

MU-MIMO – Multi-User Multiple Input Multiple Output

NAV - Network Allocation Vector

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PDA – Personal Digital Assistant

PLCP – Physical Layer Convergence Procedure

PMD – Physical Medium Dependant

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying

RSSI – Received Signal Strength Indicator

RTS – Request to Send

SAP – Service Access Point

SSID – Service Set Identifier

STA – Station

SU-MIMO – Single-User Multiple Input Multiple Output

U – UNII – Unlicensed National Information Infrastructure

VoIP – Voice Over IP

WEP – Wireless Encryption Protocol

Wi-Fi – Wireless Fidelity

WLAN – Wireless LAN

WPA – Wi-Fi Protected Access

WPA2 – Wi-Fi Protected Access 2



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi. Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom Prijedlog unaprijeđenja arhitekture mreže IEEE 802.11 primjenom alata Ekahau Site Survey na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica

U Zagrebu, _____

(potpis)